
SIGILLVM · COLLEGII · COLVMBIAE · NOVI · EBORACI
IN LVMINE TVO VIDEBIMVS LVMEN

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

REVUE

DES

QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE

PAR LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

Nulla unquam inter fidem et rationem
vera dissensio esse potest.
Const. de Fid. cath., c. IV.

TROISIÈME SÉRIE

TOME XI — 20 JANVIER 1907

(TRENTE ET UNIÈME ANNÉE ; TOME LXI DE LA COLLECTION)

LOUVAIN
SECRÉTARIAT DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE
(M. J. Thirion)
11, RUE DES RÉCOLLETS, 11

1907

MOTEURS A GAZ

ET

ARMES A FEU (1)

L'idée d'établir un parallèle entre l'engin brutal et homicide de la guerre et le serviteur de l'industrie, éminemment pacifique, qu'est le moteur à gaz, paraît de prime abord quelque peu osée, voire même paradoxale; mais il suffit d'une étude superficielle des conditions du fonctionnement des canons et des moteurs pour se rendre compte qu'ils mettent en œuvre la même énergie, par des moyens peu différents, et que ce sont des machines de même espèce, dont la comparaison est intéressante; une analyse approfondie des éléments de la question révèle bientôt des liens plus étroits encore entre la théorie et la pratique des deux appareils, et leur examen conduit à des rapprochements inespérés et réellement féconds, dont peuvent bénéficier les arts de la paix et de la guerre. Ce sont les premiers qui sollicitent uniquement notre attention et c'est à leur bénéfice que nous voudrions voir aboutir cette étude. Puisque la guerre est l'ennemie de la paix, le proverbe *fas est ab hoste doceri* trouvera ici son application et justifiera notre projet, qui est d'arracher à la balistique ses secrets au profit des moteurs à gaz.

(1) Conférence faite à l'Assemblée générale de la Société scientifique de Bruxelles, le jeudi 25 octobre 1906.

Nous aurons d'abord à faire ressortir les analogies indiscutables des canons et des machines. Nous aborderons ensuite l'étude des facteurs d'action mis en service et des résultats qu'ils produisent, pour aboutir enfin aux conclusions qui découlent de la comparaison de ces divers éléments.

I. — Les analogies d'espèce

A en croire les vieux chroniqueurs, la voix du canon s'est fait entendre pour la première fois au siège de Metz, en 1324, puis à la désastreuse bataille de Crécy, en 1336, et l'année suivante à Calais et à Brioude; mais sa voix portait plus loin que ses coups, et il faisait plus de peur que de mal. En effet, les instructions données aux défenseurs des places assiégées leur prescrivaient de tirer d'abord avec les arbalètes à tour, pour empêcher l'ennemi d'approcher des murs, avant de se servir des armes à feu, dont la portée était donc moindre.

Le canon était en ce temps formé d'un cylindre de métal, renforcé par des frettes en fer, consolidées encore par un enroulement de cordes et recouvertes quelquefois de peaux corroyées : tel était le canon de campagne de Gustave-Adolphe. La technique de l'appareil était très simple : on introduisait par la gueule, au fond de l'âme, une charge de poudre, on la comprimait par une bourre et on glissait par dessus un boulet sphérique de pierre ou de fer. L'explosion, provoquée à la mèche, lançait le projectile au loin : Vauban traçait ses fortifications en comptant sur une portée maximum de l'artillerie de 1200 mètres et de la mousqueterie de 200 mètres. L'art de détruire était dans son enfance et la théorie de la balistique n'était pas encore née.

Un philosophe se dit alors que la puissance motrice de la poudre pouvait être mieux employée qu'à démolir des

murailles et à tuer des hommes, et il voulut en tirer un effet utile. C'est un ecclésiastique français qui eut cette pensée généreuse : elle mérite d'illustrer son nom.

Le moteur de l'abbé Jean de Hautefeuille était, comme le canon, une machine à poudre, que l'ingénieux physicien appliquait à l'élévation des eaux. La poudre brûlait dans une enceinte close communiquant par un tuyau avec la nappe à épuiser : la force vive de l'explosion n'était pas utilisée, mais seulement le vide relatif résultant du refroidissement des produits gazeux de la réaction, et l'eau montait dans le tuyau par l'effet de la pression de l'atmosphère. C'était donc une machine atmosphérique comme celle du marquis de Worcester (1). Huygens mit son génie au service de l'idée de Hautefeuille, et il perfectionna son moteur en faisant exploser la poudre, sous un piston mobile dans un cylindre, auquel étaient adjoints des tuyaux en cuir souple ; ceux-ci se dilataient sous la poussée explosive en laissant échapper les gaz, puis ils se refermaient en s'aplatissant sous l'action de la pression extérieure. Le vide était évidemment meilleur, mais la machine restait médiocre. Colbert demanda à la voir fonctionner ; on lui montra qu'elle soulevait sept ou huit laquais suspendus à une corde, passée sur une poulie, et que le piston entraînait dans sa descente, produite par la pression de l'atmosphère (2). Denis Papin vint ensuite, et il améliora encore le vide par l'invention des soupapes à joint hydraulique (3). Malgré cela, il dut constater que le vide ainsi réalisé était toujours moins parfait que celui qu'il obtenait par la condensation de la vapeur d'eau, et

(1) Le premier ouvrage de Jean de Hautefeuille porte la date de 1678 ; la célèbre *Century* de Worcester avait été imprimée à Londres quinze ans plus tôt, en 1663.

(2) Le mémoire de Huygens sur *Une nouvelle force mouvante par le moyen de la poudre à canon et de l'air* remonte à 1680.

(3) *De novo pulveris pyrii usu* ; Actes de l'Académie de Leipzig, 1688.

il fut amené rationnellement à abandonner les machines à poudre pour se consacrer entièrement à l'utilisation de la vapeur. Mais l'idée du moteur était, dès lors, si intimement liée à celle du canon, que l'illustre inventeur conçut le projet de lancer des projectiles par la pression de la vapeur et par celle de l'air comprimé ; je ne crois pas qu'il ait fait construire aucun canon à vapeur, mais le fusil à vent a été réalisé par lui, et il a décrit des engins de guerre pneumatiques dans une étude peu connue, intitulée *Continuation du digesteur*, qui établit nettement ses titres à l'invention de ce genre de machines.

Canons et moteurs ont longtemps fraternisé ainsi dans le cerveau des chercheurs, qui ne les séparaient pas les uns des autres et travaillaient à leur développement simultané, en y essayant tous les facteurs d'action. Les projets d'artillerie à vapeur ont encore occupé le XIXe siècle, et Perkins avait cru réussir : il a fallu attendre pour décourager ces tentatives, que le général de Saint-Robert eût établi la théorie des armes à vapeur dans ses *Principes de Thermodynamique*. Ce savant démontra que la tension de la vapeur d'eau, aux températures pratiquement abordables, ne peut imprimer à un projectile une vitesse initiale suffisante : avec de la vapeur à 200 degrés centigrades, on n'obtiendrait que 68 mètres par seconde à la sortie de l'âme et une portée d'environ 500 mètres, dont Vauban lui-même ne se serait pas contenté.

Les gaz comprimés ne peuvent non plus développer assez d'énergie. En ces dernières années, en Amérique, Zalinski est revenu à l'air sous haute pression, comme agent de propulsion ; cette artillerie pneumatique était spécialement créée pour la projection de certains obus explosifs, particulièrement sensibles au choc ; mais pour réaliser une vitesse initiale acceptable, il fallait allonger considérablement le canon et lui donner une longueur

de plus de cent calibres. Ces armes sont condamnées à tous points de vue : notre collègue M. le comte de Sparre a calculé (1) que, pour faire tirer trois coups par minute à un fusil de 8 millimètres, lançant une balle de 15 grammes à une vitesse initiale de 600 mètres, il faudrait comprimer de l'air à plus de 100 atmosphères et faire suivre chaque régiment par un compresseur ayant une puissance de 1100 chevaux. Les gaz liquéfiés et surtout l'air liquide, dont on a si souvent rêvé d'utiliser l'énorme tension, ne conduiraient pas à de meilleurs résultats pour de multiples causes : les gaz liquides constituent de bonnes machines frigorifiques et de mauvais moteurs; le réservoir clos, qui porterait l'air liquide sur le champ de bataille, devrait être construit de façon à résister à l'énorme tension de plusieurs centaines d'atmosphères à 15 degrés centigrades.

Les moteurs à poudre ont survécu à Hautefeuille, à Huygens et à Papin; cet asservissement des puissants explosifs est en effet très séduisant, et les inventeurs de profession reviennent périodiquement à ce genre de machines motrices; on a même dépensé beaucoup d'ingéniosité dans cette voie. Rappelons la sonnette balistique de Shaw, dans laquelle une cartouche, détonant dans un canon cylindrique, enfonçait vivement un pieu dans le sol, tandis que le mouton était mollement relancé dans l'air, en utilisant le recul, et venait se raccrocher de lui-même au déclic. MM. Wolf et Pietzcker ont aussi imaginé un moteur dans lequel de la nitroglycérine était fabriquée, au sein même de l'appareil, au moment de son emploi. M. Haton de la Goupillière a accordé à cette machine les honneurs d'une description dans son savant *Traité des Machines*, ce qui témoigne de sa valeur; mais le silence qui s'est

(1) Comte de Sparre, *Sur les principes qui ont permis la transformation des armes à feu*. Lyon, 1902.

fait ultérieurement sur le nouveau moteur ne semble pas indiquer qu'il ait obtenu beaucoup de succès.

En somme, les armes à vapeur et à vent n'ont pas eu meilleure fortune que les moteurs à poudre et à dynamite : seuls le canon à poudre, dans l'art militaire, et le moteur à explosif gazeux, dans l'industrie, ont résisté à l'épreuve décisive du temps et de la pratique. Tous deux ont parcouru une brillante carrière ; que de progrès ils ont faits en peu d'années et quels progrès ! Le chargement du canon par la culasse, l'adoption de la rayure, la réalisation du forcement du projectile, l'invention de nouvelles poudres moins vives et moins brisantes, quoique beaucoup plus énergiques et plus puissantes, la construction des derniers affûts à déformation, etc., ont fait du redoutable engin de guerre un chef-d'œuvre de la mécanique. D'autre part, l'emploi de mélanges gazeux tonnants, surcomprimés, rigoureusement dosés, habilement atténués, procurant une combustion entière et parfaite, subissant une détente complète, explosant derrière un piston sans produire de choc violent, ont placé le moteur à gaz au premier rang des machines motrices.

Remarquable coïncidence : c'est à partir de 1859 que les deux genres d'appareils se sont rapidement et remarquablement perfectionnés.

L'étendue des progrès réalisés est d'ailleurs du même ordre de grandeur, ainsi qu'il nous sera aisé de le démontrer.

Nous mettons en présence, dans le tableau ci-dessous, les résultats fournis à quelques années d'intervalle par une même pièce de la maison Krupp ; il s'agit d'une pièce de 24 centimètres :

	1868	1890	1899
Nature de la charge . .	Poudre noire	Poud^e sans fumée	Poud^e sans fumée
Poids de la charge . .	22,5 kgr.	42,0 kgr.	66,9 kgr.
Poids du projectile . .	152 kgr.	215 kgr.	170 kgr.
Vitesse initiale	351 mètres	700 mètres	1012 mètres
Énergie effective . . .	954 tonn^es-mèt^s	5370 tonn^es-mèt^s	8873 tonn^es-mèt^s

Ainsi, en trente ans, la vitesse initiale du projectile a triplé, et sa puissance vive devenait 9 fois plus grande, alors que la pression maximum développée dans l'arme augmentait à peine.

Quant au moteur à gaz, l'ingénieuse et célèbre petite machine à double effet, de Lenoir, de 1860, consommait plus de 2000 litres de gaz de ville, par cheval-heure effectif; en 1876, paraissait le moteur Otto, à quatre temps, qui n'en dépensait plus que 1000; puis, je constatais, en 1885, une consommation de 562 litres; en 1889, de 510 litres; en 1901, de 439 litres et en 1903 de 368 litres, en expérimentant sur divers types de machines. Ces chiffres, relevés par le même observateur, à l'aide de procédés identiques, marquent une gradation continue, qui est vraiment remarquable. Entretemps, la puissance des moteurs croissait de quelques chevaux à 100, 1000, 1500 chevaux et plus; la petite machine quittait l'atelier de l'imprimeur, du tourneur, du charcutier, de l'ouvrier en chambre, pour entrer dans la grande industrie; l'emploi des gaz pauvres en faisait le concurrent heureux et triomphant de la machine à vapeur, et, finalement, l'utilisation directe des gaz de hauts fourneaux la plaçait au cœur des grands établissements métallurgiques dont elle actionne les stations centrales, les trains et les souflantes.

Canons et moteurs à gaz avaient donc fait tous deux des pas de géant dans la voie fort différente qui s'était ouverte devant eux : leur évolution avait été simultanée et parallèle. Il n'y a pas lieu de s'en étonner. En effet, ils procèdent de la même idée, ils fonctionnent d'une manière identique et ils répondent au même concept, qui est de transformer la chaleur en travail; arme à feu et machine à feu sont des machines thermiques, tributaires de la même théorie; elles devaient donc bénéficier l'une et l'autre des admirables progrès de la

thermodynamique. Dans l'une comme dans l'autre, on introduit une charge explosive derrière un piston mobile ; la mise de feu développe dans la culasse un énorme volume de gaz, à haute température, partant à haute pression ; ces gaz se détendent et épuisent leur énergie sur le mobile, qu'ils poussent devant eux. Ce que les ingénieurs militaires et les ingénieurs civils cherchent à réaliser, c'est de détendre à fond les gaz chauds, de les soustraire au refroidissement et de réduire les pertes extérieures, de les déposer dans l'atmosphère sans excès de température, sans excès de pression et sans vitesse.

Le moteur à gaz est une sorte de canon à chargement automatique et à répétition périodique.

Nous pouvons maintenant entrer plus intimement dans l'analyse du fonctionnement des deux engins.

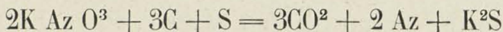
Nous le ferons en empruntant aux meilleurs ouvrages de balistique (1) les connaissances spéciales qui nous manquent, et en les rapprochant des données que nous avons accumulées durant de longues années d'études et de recherches sur les moteurs à gaz.

II. — Les facteurs d'action

La vieille poudre noire, que les alchimistes ont léguée à notre civilisation, était un mélange mécanique de formule simple : *six* de salpêtre, *as* et *as* de charbon et de soufre, disait-on, soit pour 150 livres de salpêtre, 25 de chacun des deux autres éléments. Si l'on avait pris 149,6 du premier, 26,6 du second et 23,6 du

(1) Nous avons consulté plus spécialement les traités suivants : *Traité de balistique expérimentale*, par Hélie, 2e édition, revue par Hugoniot. Paris, 1884. — *Balistique des nouvelles poudres*, par Vallier. Paris, collection Léauté. — *Cours de balistique intérieure*, par Haesen. Bruxelles, 1904. — Conférences de MM. de Sparre, Audebrand, Beaujean.

dernier, on aurait mis en présence exactement 2 atomes de nitrate de potassium, 3 de carbone et 1 de soufre (1), et la réaction de combustion eût été donnée par l'équation



$$2K\,Az\,O^3 + 3C + S = 3CO^2 + 2\,Az + K^2S$$

Le dosage des poudres noires actuellement employées répond assez bien à cette composition théorique, puisqu'il comporte 150, 30 et 20 des trois corps. L'azotate a pour rôle de fournir l'oxygène aux deux combustibles carbone et soufre; le soufre facilite l'inflammation du couple salpêtre-charbon, attendu qu'il brûle vers 250 degrés, alors qu'il faut au moins 350 degrés pour le charbon.

La formule de la réaction donnée ci-dessus est théorique; les choses se passent moins simplement qu'elle ne l'indique : en réalité, il se produit des résidus solides de nature complexe et de masse beaucoup plus grande que ne le fait voir la formule; ainsi on observe qu'un kilogramme de poudre donne naissance, par sa combustion, à 565 grammes de matières solides, qui forment l'épaisse fumée blanche caractéristique de ce genre de poudres; ce chiffre a été fourni par Noble et Abel (2). D'après les mêmes, la réaction engendrerait 435 grammes de gaz et de vapeurs, occupant à la température de 0 degré et sous la pression de 760 millimètres, de 300 à 330 litres : ce chiffre n'est qu'approché. En calculant, d'après les formules, la quantité de chaleur dégagée par la combustion d'un kilogramme de poudre, on trouve 738 calories; mais les chimistes ne sont pas tombés d'accord sur cette valeur et il a fallu demander au calorimètre la solution du problème. Des essais ont été

(1) Bunsen et Schisschkof, *Chemische Theorie des Schiesspulvers*, ANNALES DE POGGENDORF, t. XCII.

(2) Noble et Abel, *Researches on Explosives* et nombreux articles dans les PROCEEDINGS OF ROYAL INSTITUTION et les PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS.

faits par MM. de Tromenec, Roux, Sarrau, etc.; ils ont conduit à attribuer à la poudre type *six, as* et *as* un pouvoir calorifique de 752 calories par kilogramme au maximum, lequel est tombé quelquefois à 705 pour certains échantillons. C'est le pouvoir sous volume constant, vapeur d'eau condensée : cette dernière condition définit ce qu'on est convenu d'appeler le pouvoir *supérieur*.

Les anciennes poudres noires possédaient une qualité remarquable : elles étaient d'une stabilité étonnante, pourvu qu'elles restassent à l'abri de l'eau. Il existait en 1870, dans nos arsenaux de France, des poudres datant du règne de Louis XIV, dont il a encore été fait usage durant la guerre franco-allemande. Mais cette espèce de poudre avait l'inconvénient d'être trop vive; pour des raisons que nous développerons en son temps, les artilleurs modernes recherchaient de préférence des poudres progressives, pour le service des bouches à feu; ils réussirent à réduire à volonté, pour ainsi dire, la vitesse de combustion par des changements apportés à la composition de la poudre, à son mode de fabrication et surtout à la forme, à la densité et au volume des grains. L'étude de cette question nous entraînerait trop loin : nous rappellerons seulement qu'en thèse générale la vitesse d'émission des gaz d'une poudre donnée est moins rapide quand elle est formée de gros grains; ces poudres (désignées par les lettres C. et SP.) sont uniquement employées dans les bouches à feu. La poudre *pebble* est de même nature (1).

En balistique intérieure, on considère un certain nombre de caractéristiques des explosifs; nous aurons à faire usage des suivantes :

La force spécifique, F, définie par la pression engendrée dans une enceinte close, ayant un litre de capa-

(1) Pebble signifie en anglais petit caillou.

cité, par la combustion d'un kilogramme de poudre; elle s'énonce en kilogrammes par centimètre carré.

La température T de combustion, c'est-à-dire la température absolue des produits de la combustion complète de l'explosif sans production de travail extérieur.

Le volume V_0 des produits gazeux, ramenés à la température 0 centigrade et à la pression de 760 millimètres; il s'évalue en centimètres cubes.

L'énergie spécifique W, soit la quantité d'énergie mesurée en kilogrammètres, renfermée dans un kilogramme d'explosif : il est évident que $W = 425 \times Q$, Q étant le pouvoir calorifique de l'explosif.

Pour la poudre noire, nous admettrons les valeurs moyennes ci-dessous des caractéristiques (1) :

$F = 3250$ kilogrammes.

$T = 3500$ degrés absolus.

$V_0 = 280$ décimètres cubes à 0 degré et 760 millimètres.

$W = 725 \times 425 = 308.10^3$ kilogrammètres $= 308$ tonnes-mètres.

La durée de la combustion d'une charge de poudre noire, c'est-à-dire le temps nécessaire à la propagation de la réaction, est de l'ordre des cent millièmes de seconde : elle dépend de la constitution de la poudre et des conditions du chargement, et notamment de la pression des gaz développés, à laquelle elle est proportionnelle.

La poudre noire est un mélange explosif; le combustible a été rapproché du comburant par une préparation mécanique. Mieux valait évidemment unir le combustible au comburant par une affinité chimique : c'est ce que réalisa Schönbein, en 1846, en fabriquant le coton-poudre, et Sobrero, un an plus tard, par l'invention de la nitroglycérine; on a découvert depuis lors un grand

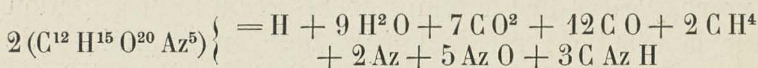
(1) Ces valeurs varient avec les échantillons et nous ne pouvons, dans cette étude, envisager que leurs moyennes.

nombre de dérivés azotiques des hydrates de carbone ainsi que des éthers azotiques analogues. Tous ces produits jouissent de la propriété précieuse de brûler sans résidus solides, en dégageant une grande quantité de chaleur ; ils possèdent par suite une énergie spécifique considérable, ainsi qu'on peut en juger par l'examen de leurs caractéristiques.

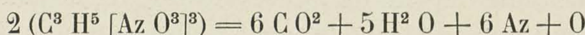
	Formule	F	T	V_0	W
	—	—	—	—	—
Coton-poudre .	$C^{12}H^{15}O^{20}Az^5$	10 230 k.	3150°	850 d³	457.10³ kgm.
Nitroglycérine .	$C^3H^5(AzO^3)^3$	10 650 k.	3900°	710 d³	668.10³ kgm.

Ces substances sont des agents explosifs d'une puissance bien supérieure à la poudre noire : en effet, la nitroglycérine donne près de 40 000 fois son volume de gaz chauds, quand elle explose en vase clos. Mais ce sont des endothermiques, c'est-à-dire des édifices moléculaires artificiels, dont l'écroulement produit un dégagement de chaleur.

M. Berthelot a proposé de représenter la réaction de décomposition par les formules suivantes :



$$2(C^{12}H^{15}O^{20}Az^5)\left\{\begin{array}{l} = H + 9H^2O + 7CO^2 + 12CO + 2CH^4 \\ \quad + 2Az + 5AzO + 3CAzH \end{array}\right.$$



$$2(C^3H^5[AzO^3]^3) = 6CO^2 + 5H^2O + 6Az + O$$

La décomposition de la nitroglycérine est complète et celle du coton-poudre est bien près de l'être, alors même qu'il y ait léger manque d'oxygène dans ce dernier cas ; les deux substances se résolvent entièrement en gaz. Mais elles manquent toutes deux de stabilité et donnent des réactions excessivement vives, qui les rendent absolument impropres à l'usage dans les armes à feu : à l'exemple de ce qu'avait fait Nobel en créant la dynamite, il fallait les atténuer, j'allais dire les dompter et les domestiquer ; le général Uchatius, le général Lenk, M. Abel et d'autres encore s'y étaient appliqués avec

peu de succès. En 1884, M. Vieille eut plus de bonheur en amenant le coton-poudre à l'état colloïdal; pour cela, il le dissolvait dans ce qu'on appelle l'éther à 56° (mélange d'éther pur et d'alcool à 95°) pour former un collodion, qui durcit à l'air et peut être transformé en bandes ou grains plats. La poudre B de France était découverte : elle possédait la propriété d'être lente et progressive, comme on le voulait; c'était par surcroît une poudre sans fumée, dont les États étrangers s'empressèrent de nous arracher le secret et qu'ils fabriquèrent à notre suite. La poudre B et les poudres de Wetteren (L^3 ou n° 32) sont à base unique de nitrocellulose; la *blättchenpulver* des Allemands a presque la même composition, mais la *würfelpulver* renferme 90 p. c. de nitroglycérine pour 10 de nitrocellulose. La *balistite* italienne est formée de poids égaux de nitroglycérine et de collodion ou dinitrocellulose. La *cordite* des Anglais serait un mélange de 58 de nitroglycérine, 37 de trinitrocellulose et 5 de vaseline; la dissolution de la nitrocellulose est facilitée par la benzine. Les Russes ont accordé la préférence à un pyrocollodion qui se rapproche de notre poudre B. On donne généralement à ces produits la forme de lamelles, dont les dimensions varient avec le type de bouche à feu auquel ils sont destinés. La poudre B est formée de plaquettes de 2 millimètres de côté et d'un tiers de millimètre d'épaisseur; pour le canon de campagne allemand de 1891, les bandes ont 2,7 millimètres de long et un demi-millimètre d'épaisseur; la balistite présente la forme de petits cubes de 1,5 millimètre de côté; la cordite, étirée en cordelettes de moins d'un millimètre de diamètre, a l'apparence du vermicelle.

Les caractéristiques de ces nouvelles poudres n'ont pas été portées officiellement à la connaissance du public; elles varient d'ailleurs beaucoup avec leur fabrication. Pour les apprécier d'une façon générale, il

nous faut tenir compte de leur composition et de certains résultats d'expériences qui fournissent une base assez vague de comparaison.

L'effet utile relatif ressort des quantités de charges nécessaires pour imprimer la même vitesse initiale à un projectile donné dans une arme déterminée.

M. Haesen (1) a établi, ainsi qu'il suit, ce qu'il appelle le rendement relatif des poudres sans fumée nouvelles et de l'ancienne poudre noire, prise comme type :

Poudres	Armes d'expérience	Rendement relatif
—	—	—
B française . . .	Pièce de 90 mm, modèle 1877	$\frac{1}{2,67}$
L^3 de Wetteren . .	» 87 »	$\frac{1}{2,78}$
Blättchenpulver . .	» 87 » » 1891	$\frac{1}{2,34}$
Balistite	» 90 » » 1881	$\frac{1}{3,15}$
Cordite	» 305 » » 1884	$\frac{1}{3,66}$

D'après cela, la poudre B fournirait, dans la même pièce, le même effet utile qu'une charge de poudre noire 2,67 fois plus forte.

Divers auteurs rapprochent les résultats obtenus dans le fusil de 8 millimètres, avec une balle de 15 grammes :

	Poudre B	L^3 de Wetteren	Balistite
	—	—	—
Poids de la charge . . .	2,70 gr.	2,50 gr.	2,35 gr.
Vitesse initiale	620 mètres	590 mètres	623 mètres
Pression maximum . . .	2657 kgr.	2800 kgr.	2535 kgr.

MM. Mac Nab et Ristori (2) ont trouvé au calorimètre les caractéristiques ci-dessous :

	Q	V_0
	—	—
Poudre B	833 cal.	738 déc. cubes
Cordite.	1253 »	647 »

(1) *Loc. cit.*, p. 166.
(2) Laharpe, *Notes et formules*, p. 1014.

Tous ces chiffres concordent médiocrement, et ce n'est pas étonnant, étant donnée la variété des essais.

Nous croyons n'être pas loin de la vérité avec les valeurs moyennes suivantes :

	Q	W
	—	—
Poudre B	844 cal.	360.10^3 kgm.
Blättchenpulver. . . .	838 »	356 »
Balistite	1176 »	500 »
Cordite.	1129 »	480 »

Ces chiffres ne constituent évidemment qu'une approximation que nous voudrions pouvoir rendre plus précise.

Ces produits emmagasinent sous un faible volume une énergie considérable : en effet, la densité réelle de la poudre B étant égale à 1,580 (1), le kilogramme aurait un volume de 633 centimètres cubes; l'énergie du décimètre cube est donc égale à plus de 572 tonnes-mètres.

La puissance formidable des engins alimentés de telles substances n'a dès lors rien qui puisse nous étonner.

Calculons cette puissance en fonction de l'unité industrielle, et prenons comme premier exemple le fusil français, modèle 1886, de 8 millimètres de diamètre, qui lance une balle de 15 grammes par 2,75 grammes de poudre BF : la vitesse initiale étant de 633 mètres, à la sortie de l'arme, le travail développé, égal à $1/2\, mw^2$, est de 306 kilogrammètres par coup de feu. Or, un tireur décharge aisément son arme 12 fois par minute (2); le travail correspond ainsi à 61,2 kilogrammètres par seconde, soit à 0,81 cheval. Notons que l'arme pèse 4,200 kilogrammes.

Faisons le même calcul sur la pièce de campagne

(1) Haesen, *loc. cit.*, p. 164.

(2) Certains élèves des écoles de tir dépassent ce nombre de beaucoup.

française de 90, dont la portée est estimée à 7 kilomètres; le projectile part avec une vitesse initiale de 455 mètres; il pèse 8 kilogrammes. Le travail par coup est de 84 414 kilogrammètres; au régime de 6 coups par minute, qu'on réalise sans difficulté, la puissance correspond à 112,5 chevaux.

La remarquable pièce française de 75 millimètres permet un tir extrêmement rapide; on parle de 24 coups par minute. La vitesse initiale de son obus Robin de 7,250 kilogrammes étant de 530 mètres, il se développe par coup 103 803 kilogrammètres; la puissance est donc de 553 chevaux.

Le canon Krupp de 24 centimètres, modèle 1890, pesant 31 tonnes, imprime une vitesse initiale de 700 mètres à son projectile pesant 215 kilogrammes; l'effet utile atteint 5370 tonnes-mètres; s'il tire deux coups à la minute, il peut être considéré comme valant 2386 chevaux.

La bouche à feu, exposée à Paris par MM. Vickers et Maxim, avait pour caractéristique de lancer son obus de 90,8 kilogrammes à la vitesse de 890 mètres, en actualisant 3666 tonnes-mètres par coup; au taux de 3 coups par minute, sa puissance ressort à 2443 chevaux. Le diamètre de l'âme est de 19 centimètres.

Les Américains ont construit un canon de 30,4 centimètres dont le projectile pèse 385 kilogrammes; sa vitesse initiale étant de 871 mètres, l'effet utile dépasse 14 908 tonnes-mètres; pour un coup par minute, cela fait 3312 chevaux.

Nous arriverions à des chiffres plus imposants encore pour le canon Fraser de l'*Inflexible*, dont le boulet de 570 kilogrammes est projeté avec une vitesse de 512 mètres; pour le canon Armstrong du *Duilio*, pièce de 100 tonnes, lançant son projectile de 916 kilogrammes avec une vitesse de 470 mètres; pour la bouche à feu de 200 tonnes, dont le projectile de

2718 kilogrammes devait être porté à 19 kilomètres! Mais les chiffres qui précèdent suffisent pour établir la puissance énorme des engins de guerre modernes; ils équivalent à des milliers de chevaux, puissance qu'aucun moteur à gaz monocylindrique ne saurait encore développer. En effet, le plus puissant moteur Delamare à simple effet qui ait été construit, celui de la Société John Cockerill, de $1^m,300$ de diamètre de cylindre et $1^m,400$ de course de piston, faisant 94 révolutions par minute, pesant avec son volant 127 tonnes, n'a pas développé plus de 750 chevaux. Le travail par coup moteur n'est que de 71 809 kilogrammètres. La Compagnie de Nuremberg a résolu de construire un moteur monocylindrique de 1600 chevaux, à double effet, en donnant au cylindre $1^m,500$ de diamètre et au piston $1^m,800$ de course et en marchant à 86 tours : l'impulsion motrice, même en comptant sur une pression moyenne de 5 kilogrammes au centimètre carré, n'atteindra pas 230 tonnes-mètres, et ce colosse n'est encore qu'en projet!

Cette faiblesse relative des plus puissants moteurs à gaz est évidemment due à l'insuffisance du facteur d'action, le mélange tonnant qu'on fait exploser derrière le piston : la pression moyenne exercée sur ce piston est au plus de 5 à 6 kilogrammes, alors que dans certains canons la pression moyenne subie par le culot du projectile atteint 2100 kilogrammes.

Nous sommes amenés à étudier la source d'énergie des moteurs.

Ce n'est plus la poudre, mais un carbure d'hydrogène liquide, réduit en vapeur au sein d'une masse d'air comburante, ou du gaz de ville obtenu par la distillation de la houille en cornue, ou bien un gaz pauvre produit spécialement à cet effet dans un gazogène, ou, enfin, un gaz de haut-fourneau utilisé directement d'une façon inespérée et certainement merveilleuse.

Le kilogramme de pétrole peut fournir (1), par sa combustion complète, 10 750 calories; son énergie spécifique est donc de 10 750 × 425 = 4 568 750 kilogrammètres : elle paraît fort supérieure à celle de n'importe quel explosif. Mais ceux-ci renferment à la fois le combustible et le comburant, tandis que le pétrole attend son comburant; or, il faut lui fournir par kilogramme 15 kilogrammes d'air pour le moins, si l'on veut obtenir une combustion complète; nous formons donc 16 kilogrammes de mélange et l'énergie du kilogramme ressort à 285 560 kilogrammètres; la poudre noire n'en renferme guère plus. Mais ces 16 kilogrammes d'air carburé occupent 12,5 mètres cubes; le litre ne possède plus que 365 kilogrammètres, il vaut par suite 529 fois moins que ne vaut le décimètre cube de poudre B.

Faisons le même calcul pour le gaz de ville, dont le kilogramme peut dégager 11 373 calories, si on lui fournit 14 kilogrammes d'air; on prépare ainsi 12 943 litres de mélange tonnant, et l'énergie disponible par litre n'est que de 374 kilogrammètres comme ci-dessus. Les mélanges pratiquement en usage dans les moteurs sont d'ailleurs beaucoup plus dilués que nous ne le supposons.

Les mélanges constitués par les gaz pauvres et les gaz de hauts-fourneaux sont moins riches encore.

Nous voyons donc que l'aliment d'énergie du moteur à gaz et à pétrole est beaucoup moins puissant que celui du canon, surtout en volume.

Voici, du reste, une dernière comparaison :

Je viens de procéder récemment, avec M. le professeur Hubert de Liége, à de grandes expériences sur un moteur Cockerill à gaz de haut-fourneau, composé

(1) Voir pour la justification de ces chiffres notre *Traité des Moteurs à gaz et à pétrole,* 4e édition, t. I, pp. 88, 160, etc.

de deux cylindres à double effet, disposés en tandem, de 1m,000 de diamètre de cylindre et 1m,100 de course des pistons, réglé à cent tours par minute, d'une puissance nominale de 1450 chevaux effectifs. Or, le volume moyen de gaz admis par coup de piston a été de 341 litres de gaz de haut-fourneau, d'un pouvoir calorifique supérieur de 943 calories; l'apport d'énergie par coup-moteur n'est donc que de 136 637 kilogrammètres. Dans la pièce de 24 centimètres de la maison Krupp, modèle 1890, la charge de 42 kilogrammes de poudre sans fumée adoptée renferme une énergie de 14 millions 952 000 kilogrammètres : elle est donc cent dix fois plus grande.

Si cet engin donnait, comme le moteur Cockerill susdit, 200 coups à la minute, il aurait une puissance de 159 500 chevaux.

Le moteur à gaz est donc bien un canon à chargement automatique et à décharge répétée, mais à facteur d'action singulièrement atténué.

III. — Les rendements

Le moteur à gaz possède un rendement thermique qui le met hors de pair avec tous les moteurs industriels concurrents; le fait a été maintes fois et solidement démontré, et nous nous contenterons de rappeler les conclusions de nos précédentes études (1).

La meilleure manière de spécifier la perfection relative des moteurs thermiques et de les caractériser par un coefficient mathématique, est de déterminer leur rendement thermique, c'est-à-dire le rapport qui existe entre le calorique transformé en travail effectif et le

(1) Witz, *Rendement comparé des machines à vapeur et des moteurs à gaz*; L'Éclairage électrique, t. XXX, pp. 5, 41 et 228; 1902.

calorique disponible : ce rendement ainsi défini est le *rendement thermique effectif*. Il s'établit sans difficulté pour une machine motrice quelconque. En effet, considérons le cas d'une excellente machine à vapeur consommant par cheval-heure *effectif* 4,7 kilogrammes de vapeur d'eau, prise sous la pression de 8,4 kilogrammes, surchauffée à 341 degrés; le kilogramme de cette vapeur possède une chaleur totale de 743,6 calories. Pour 4,7 kilogrammes, la disponibilité est de 743,6 × 4,7 = 3495 calories par cheval-effectif et par heure. Or, le cheval-heure représente 75 × 60 × 60 = 270 000 kilogrammètres ou $\frac{270\,000}{425} = 635{,}29$ calories. Ce sont les calories utilisées.

Le rendement thermique effectif est donc de

$$\frac{635{,}29}{3495} = 0{,}182$$

Ce rendement n'a guère été dépassé à ma connaissance : on a publié, il est vrai, des résultats d'expériences faites sur une machine de la maison Van den Kerchove, de Gand, qui ont fait constater une consommation de 2992 calories par cheval-heure indiqué, qui peut correspondre à 3324 calories par cheval-heure effectif, en admettant un rendement organique de 0,90; le rendement thermique effectif serait donc égal à 0,191. On peut le considérer comme un rendement maximum.

Voilà où en est le chef-d'œuvre de Watt, perfectionné par cent ans d'efforts persévérants et de travail acharné des théoriciens les plus savants, et des praticiens les plus consommés !

Mais le moteur à gaz, qui est entré beaucoup plus tard dans la carrière, utilise beaucoup mieux les calories qu'on lui donne à transformer.

Voici, par exemple, les résultats d'essais que j'ai effectués à Roubaix, en 1903, sur un petit moteur

Catteau de 17 chevaux : cette intéressante petite machine a consommé 368 litres de gaz de ville, par cheval-heure effectif, mesuré au frein de Prony; le pouvoir calorifique supérieur du gaz, déterminé à la bombe, sous un volume constant, a été trouvé égal à 5784 calories par mètre cube. La dépense de chaleur ressortait par suite à 2128 calories, d'où un rendement thermique effectif de 0,298.

Un moteur Tangye, de même puissance, que j'ai soumis à une longue série d'expériences à Birmingham, m'a donné un rendement effectif de 0,249. Une épreuve très soigneuse faite à Evreux, avec M. Moreau, nous a conduits à assigner à un moteur Niel, qui en était l'objet, un rendement de 0,255. Dans nos dernières expériences de Seraing, M. Hubert et moi avons trouvé 0,268 pour le beau moteur Cockerill, de 1450 chevaux dont il a déjà été parlé ci-dessus.

Le moteur Diesel, éprouvé en 1897 par M. Schröter et qui s'était brillamment signalé à l'attention des ingénieurs par sa consommation très réduite de 238 grammes de pétrole par cheval-heure effectif, rendait 0,243 (1) et ce résultat fut considéré comme extraordinaire. Depuis lors, les constructeurs de cette belle machine ont encore abaissé la dépense à 188 grammes, ce qui mettrait le rendement à 0,311 (2). Ce chiffre n'a pas été dépassé.

Au concours international des moteurs à alcool, tenu à Paris en 1902, un moteur Brouhot de 16 chevaux ne consomma que 340 grammes d'alcool pur par cheval-heure effectif; en prenant 6180 calories pour le pouvoir

(1) M. Schröter avait calculé un rendement plus élevé, en prenant comme base, suivant l'usage allemand, le pouvoir inférieur du pétrole, obtenu en retranchant les calories correspondantes à la condensation de l'eau de combustion. Tous nos calculs, pour les gaz comme pour les poudres, s'appliquent aux pouvoirs supérieurs.

(2) Ce résultat a été relevé par M. Meyer; il est cité par M. Güldner, *Das Entwerfen und Berechnen der Verbrennungs Motoren*. Berlin, 1903, p. 214.

supérieur de l'alcool dénaturé, employé dans ces essais, on obtient un rendement de 0,302.

Inutile de multiplier ces exemples ; il est donc acquis qu'un moteur à gaz peut fournir un rendement effectif de 0,311 ; mais ce résultat est unique et absolument exceptionnel. Il est réalisable, mais c'est un maximum; pour l'obtenir, il faut réunir un ensemble de conditions heureuses qui ne se présentent que par occasion et ne constituent pas un cas général, qu'on puisse reproduire à volonté. Les contrats les plus sévères, ceux que l'on qualifie quelquefois de draconiens, stipulent une consommation de 2300 calories par cheval-heure effectif; cela équivaut à un rendement de 0,276. En réalité, la plupart des meilleurs moteurs consomment 2400 calories et rendent 0,264 ; c'est le rendement normal des bonnes machines.

En somme, retenons que le rendement de la machine à vapeur ne dépasse pas 0,191 et que, pour le moteur à gaz, le chiffre de 0,311 est une limite que nous ne dirons pas inaccessible, mais que nous considérons pour le moment comme infranchissable (1).

Ces chiffres étant établis, il devient extrêmement intéressant de calculer, sur les mêmes bases, le rendement thermique effectif des bouches à feu.

Mais définissons d'abord ce qu'il faut entendre par rendement d'un canon.

Un canon est une machine thermique destinée à lancer au loin un projectile : voilà son effet utile. Cet effet est mesuré par la force vive de translation, au sortir de l'âme, de la masse m, mise en mouvement avec une vitesse initiale w, c'est-à-dire par $1/2\ mw^2$. Pour apprécier la valeur de l'engin, au point de vue thermique, il faut comparer l'énergie mécanique déve-

(1) Répétons que nous considérons en tout ceci le pouvoir supérieur à volume constant, déterminé à l'aide de la bombe, qui assure une combustion complète.

loppée dans le projectile à l'énergie disponible dans la charge : ce rapport exprime le rendement. On peut l'exprimer identiquement en faisant le rapport du calorique transformé en force vive, donc en travail *effectif*, au calorique disponible dans la charge : cette définition est celle-là même que nous avons donnée du rendement des moteurs. Il est donc rationnel de comparer le rendement du canon et celui des moteurs.

Pour calculer le rendement de la pièce à feu (1), il faut connaître le poids p de la charge et son énergie spécifique W, laquelle est égale à $425 \times Q$, Q étant le nombre de calories fourni par la combustion du kilogramme d'explosif. La valeur du rendement se calcule donc par la formule $\frac{\frac{1}{2} mv^2}{pW}$ ou bien par cette autre, dans laquelle $\frac{1}{425}$ représente l'équivalent calorique du travail $\frac{\frac{1}{425}\frac{1}{2} mv^2}{pQ}$: la première établit un rapport de kilogrammètres, la seconde un rapport de calories; elles sont évidemment identiques.

Les artilleurs calculent rarement le rendement du canon, parce qu'il ne constitue pas leur principal objectif : ils se préoccupent davantage, et avec raison, de considérations de construction et de service. Une arme à feu, dont on aurait réussi à élever le rendement, procurerait peut-être une légère économie d'explosif, mais elle présenterait au point de vue de son emploi des conditions moins favorables, qui compenseraient le faible avantage résultant d'une meilleure utilisation de l'énergie de la charge.

Le rendement n'est donc pas ce que cherchent les ingénieurs militaires ; s'ils l'obtiennent, c'est par surcroît.

(1) Haesen, *loc. cit.*, p. 148.

Les résultats que nous allons constater sont dès lors d'autant plus intéressants, et, nous pouvons le dire, d'autant plus remarquables.

Jetons d'abord un regard rétrospectif sur les anciennes pièces dans lesquelles on tirait de la poudre noire. Le canon français de campagne de 90 millimètres, chargé de 1,900 kilogrammes de poudre C, imprimait à son projectile de 8 kilogrammes une vitesse initiale de 455 mètres et le portait à 7000 mètres, sous un angle de tir de 60 degrés. Le rendement thermique ne dépassait pas alors 0,140. C'était la première étape d'un progrès qui devait s'accentuer rapidement par l'amélioration des poudres progressives. L'obusier belge de 15 centimètres, modèle 1890, lançait un projectile de 31,5 kilogrammes avec une vitesse de 322 mètres; la charge était de 2,800 kilogrammes de poudre noire à gros grains irréguliers de 6 à 10 millimètres; le rendement ressortait à 0,190. Il était déjà égal à celui de la meilleure machine à vapeur.

L'emploi des poudres sans fumée devait amener un nouveau progrès, bien plus marqué.

Pour un projectile de même masse et pour une même vitesse initiale que dans les anciens canons de campagne, le canon allemand de 1891 ne recevait qu'une charge beaucoup moindre de *blättchenpulver* et son rendement était presque doublé du même coup, ainsi que le démontrent les chiffres suivants :

Poids du projectile.	7,450 kgr.
Vitesse initiale . . . . , ...	442 mètres.
Énergie développée	74 182 kgm.
Poids de la charge.	0,640 kgr.
Énergie disponible	227 840 kgm.
Rendement thermique effectif	0,325

Le moteur à gaz est donc atteint et dépassé.

Or, ce n'est pas un cas fortuit, ni un exemple isolé,

ainsi qu'il ressort des chiffres consignés dans le tableau ci-dessous.

Type du canon	Américain (1)	Vickers et Maxim (2)	Krupp (3)	Krupp (4)
Diamètre de l'âme . . .	45,7 cm.	19 cm.	24 cm.	30,5 cm.
Poids du projectile . . .	840 kgr.	90,8 kgr.	215 kgr.	408 kgr.
Vitesse initiale	607 m.	890 m.	700 m.	696,5 m.
Énergie développée (en tonnes-mètres) . .	15 775 t.-m.	3667 t.-m.	5370 t.-m.	10 086 t.-m.
Poids de la charge . . .	140 kgr.	22,7 kgr.	42 kgr.	66,85 kgr.
Nature de la poudre. . .	sans fumée	cordite	sans fumée	sans fumée
Énergie disponible . . .	50 400 t.-m.	11 123 t.-m.	14 952 t -m.	23 967 t.-m.
Rendement thermique effectif	0,313	0,329	0,359	0,442

Ces résultats sont décisifs. Ils prouvent que le rendement du canon dépasse largement celui du moteur à gaz : cette conclusion nous suffit (5).

Le canon est donc une machine thermique qui utilise mieux le calorique que ne le fait aucune autre machine de l'industrie.

Le fait est considérable, il nous reste à analyser ses causes.

IV. — L'analyse et le bilan du fonctionnement

Nous venons d'être conduit à une double constatation : et d'abord, le moteur à gaz et le canon sont les meilleures machines thermiques, au point de vue de

(1) Essais rapportés par le Naval Annual de lord Brassey; Génie civil, t. XLI, p. 284; 1902.

(2) Revue scientifique, 4e série, t. XV, p. 798; 1901. Ce canon était exposé à Paris, en 1900.

(3) Haesen, *loc. cit.*, p. 157.

(4) Haesen, *loc. cit.*, p. 118 : cette pièce, frettée à fil d'acier, a supporté une pression intérieure à la culasse de 4670 kilogrammes par centimètre carré.

(5) M. Haesen assigne au canon un rendement qui peut atteindre 0,35; *loc. cit.*, p. 147. M. Audebrand prête à la machine à vapeur un rendement égal à 0,20 et au canon, 0,16. Dans sa balistique des nouvelles poudres, M. Vallier n'envisage pas le rendement.

leur rendement ; c'est un résultat d'espèce dont la discussion présente un haut intérêt théorique et pratique. Mais de plus, il ressort des chiffres que nous avons rapprochés, que le moteur à gaz, qui est le moteur industriel le plus économique, est lui-même dépassé par l'outil de destruction et de mort, par l'engin brutal de la guerre, par le canon ; cette prééminence, inattendue et assurément singulière, constitue une seconde donnée, plus importante que la première, qui peut devenir fertile en résultats, si nous réussissons à l'interpréter et à en déduire les conclusions qu'elle comporte.

Il nous faut pour cela procéder à une analyse complète des conditions de fonctionnement des deux machines.

Commençons par le canon.

La chambre à poudre reçoit la charge, qui occupe d'ordinaire les neuf dixièmes de sa capacité, en poudre noire, et tout au plus les six dixièmes en poudre sans fumée : ces différences dans la densité de chargement sont motivées par la nature même des explosifs et par la nécessité de ne pas faire naître dans la culasse une pression instantanée trop considérable, dont les effets brisants pourraient devenir dangereux et nuiraient à sa bonne conservation. Les érosions croissent, en effet, avec le maximum de pression développé.

La qualité maîtresse des poudres de tir modernes est d'être fortes et lentes; il s'agit d'abord de produire beaucoup d'énergie avec une faible charge; d'autre part, les poudres ne doivent pas détoner instantanément, mais brûler progressivement en développant graduellement leur poussée explosive, sans soumettre la pièce à l'épreuve d'une tension exagérée. Ce double effet dépend essentiellement de la constitution de la substance tonnante et, subsidiairement, de la densité du chargement.

La poudre brûle sous l'excitation d'une amorce d'allumage; la réaction explosive, commencée par le boutefeu, se transmet dans la masse de la charge par conductibilité. Le phénomène est à deux temps : la flamme se propage d'abord instantanément à la surface des grains et de l'un à l'autre; chaque grain brûle ensuite, la combustion se propageant normalement aux faces mises en ignition avec une vitesse uniforme, qui dépend de la composition de la substance, de sa densité, de sa forme, etc., et croît avec la pression des gaz développés, selon les lois de Sebert et Hugoniot et de Sarrau. Réciproquement, la quantité de gaz émise dans l'unité de temps et leur pression sont proportionnelles à cette vitesse de combustion et à la surface des grains. L'action de tous ces éléments a été étudiée à fond et merveilleusement analysée par les artilleurs qui sont devenus physiciens, chimistes, mécaniciens et thermodynamistes consommés; ils sont parvenus à régler à volonté, pour des conditions déterminées, les vitesses de réaction de la charge et la puissance de ses effets. Pour toute arme donnée, ils ont fabriqué sa poudre. Cette adaptation rationnelle de l'explosif à la bouche à feu est le triomphe de la balistique intérieure et c'est aussi son principal secret : nous ne saurions trop insister sur cette considération.

L'amorce a pour objet d'amener un point de l'explosif à la température requise pour sa combustion ou sa décomposition. La masse de la charge d'amorce joue certainement un rôle considérable dans l'allumage des explosifs très stables, et il y a quelquefois lieu d'assurer son effet par un adjuvant : avec les poudres prismatiques à gros grains, on recevait la flamme de l'étoupille sur de menus grains de poudre noire, qui la transmettaient aux prismes. La charge d'amorce nécessaire pour déterminer franchement la combustion varie évidemment avec la sensibilité de l'explosif : il faut éviter

les retards d'inflammation qui occasionnent les longs feux et produisent les combustions incomplètes. Mais, un bon allumage étant obtenu, par une certaine charge d'amorce, il n'y a plus aucun bénéfice à dépasser cette charge qui doit être considérée comme une limite. L'expérience a montré d'ailleurs que la combustion produit toujours la même quantité de chaleur, quelle que soit l'amorce, du moment que sa masse n'est pas inférieure à la limite susdite ; par contre, la durée de la combustion paraît varier dans une certaine mesure avec la qualité et la nature de l'amorce.

La gargousse renfermant la charge est logée dans la chambre à poudre, qui est réunie à la chambre du projectile par un raccordement tronconique ; cette seconde chambre, légèrement tronconique elle-même, débouche dans l'âme rayée de la pièce. Le projectile est armé d'une ceinture en cuivre rouge, d'un diamètre à peine supérieur à celui du fond des rayures. Il en résulte que, dès le début du mouvement, la ceinture est entaillée et cisaillée par ces rayures ; on réalise ainsi le forcement du projectile, son centrage parfait et une étanchéité admirable, supérieure à celle du piston le mieux ajusté et rodé. Tous ces éléments sont à considérer dans l'étude spéciale que nous poursuivons.

La charge aussitôt enflammée, il se développe dans la culasse des gaz chauds qui font naître une pression rapidement croissante, suffisante au bout d'un temps extrêmement court pour vaincre la résistance opposée au déplacement du projectile et commencer le cisaillement de la ceinture et le forcement. L'obus se déplace lentement d'abord, puis de plus en plus rapidement et sa vitesse s'accélère jusqu'au moment où il quitte la bouche à feu : à ce moment il possède à peu près sa vitesse maximum, que nous appelons sa vitesse initiale.

Deux effets inverses se sont superposés : la marche de la combustion corrélative à une production continue

de gaz tend d'abord à faire monter la pression; au contraire, le déplacement du projectile la fait diminuer par suite de l'augmentation de volume correspondant. La pression passe donc par un maximum, auquel équivaut ce que l'on appelle dans les moteurs à gaz la pression explosive, résultant à la fois de la compression de ces gaz et de leur température.

Cette compression peut s'apprécier par la connaissance du volume V_0 (voir p. 15) des produits gazeux engendrés par la poudre, ramenés à 0 degré et à 760 millimètres.

Avec de la poudre noire et une densité de chargement égale à neuf dixièmes, on doit estimer la compression à 250 kilogrammes environ; elle atteint près de 360 à 400 kilogrammes avec de la poudre sans fumée, dont la densité de chargement serait de six dixièmes.

Nous voyons donc que dans l'arme à feu il y a une auto-compression considérable, produite par les gaz sur eux-mêmes; le travail qu'elle nécessite est emprunté à l'énergie même de l'explosif. Le degré de compression réalisé dans le canon est un élément important de son beau rendement, et nous devons le noter en vue de nos conclusions ultérieures.

Voyons, maintenant, comment s'effectue la propulsion du projectile.

Il y a deux phases distinctes dans le phénomène : une première, de combustion avec détente; une seconde, la combustion terminée, qui est une simple détente de gaz chauds. La première est trop complexe pour que l'on puisse en établir une théorie générale; la seconde, au contraire, peut être étudiée. En effet, la détente doit être considérée comme rigoureusement adiabatique, étant donnée la rapidité du phénomène dont la durée n'excède pas quelques millièmes de seconde.

La loi de cette détente est connue; les pressions déve-

loppées p sont données en fonction des volumes v par la formule

$$p\,(v - uv_0)^{\gamma} = p'\,(v' - uv_0)^{\gamma}$$

dans laquelle v_0 est le volume spécifique de l'unité de poids des gaz, u un paramètre spécifique de leur nature (le covolume) et γ le rapport des chaleurs spécifiques sous pression constante et sous volume constant; les auteurs s'accordent à faire γ égal à 1,11 pour les produits de la combustion des poudres. Leur assentiment est la meilleure justification du nombre adopté (1).

Malgré les incertitudes de la théorie, la balistique intérieure a réussi à établir des formules donnant les vitesses du projectile et les pressions des gaz en fonction des temps et du parcours du projectile dans l'âme de la pièce : ces formules reposent sur la connaissance des caractéristiques des poudres; elles sont trop compliquées pour que nous en fassions usage dans ce travail (2) et nous n'en avons du reste pas besoin. L'expérience est très heureusement venue au secours de la théorie et, dès 1864, le général russe Mayewski faisait à l'usine Krupp de remarquables essais sur une pièce de 4 rayée prussienne, en vue de relever le diagramme des pressions développées dans la culasse et dans l'âme du canon en divers points et au bout de divers temps. Nous ne pouvons nous attarder à décrire ici les appareils ingénieux à l'aide desquels on mesure des pressions de plusieurs milliers de kilogrammes par centimètre carré, développées en moins d'un centième de seconde : nous ne discuterons pas non plus le degré d'exactitude réalisé par l'emploi des manomètres à

(1) La variation des chaleurs spécifiques avec la température est mal connue en effet, surtout aux températures élevées développées dans le canon; on sait seulement que γ tend vers l'unité, lorsque la température croît. Il y a d'ailleurs des actions de paroi, dont les formules ne tiennent pas compte.

(2) MM. Vallier et Haesen ont publié de remarquables études sur ce sujet.

écrasement utilisés (1). La courbe de la figure 1 est celle des pressions relevées dans le fusil français modèle 1886 : les pressions sont portées en ordonnée; on lit sur l'abscisse les déplacements du projectile, comptés à partir du point de départ de son culot.

Dans cette arme excellente, la poudre BF sans fumée

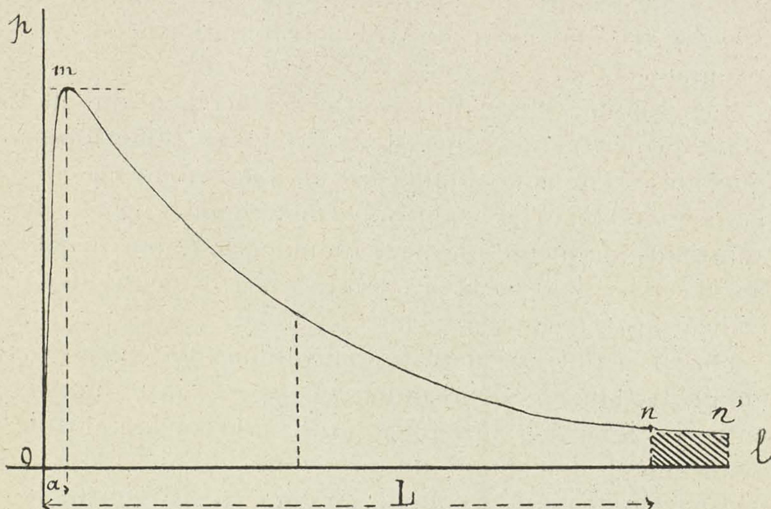


Fig. 1

donne, pour une charge de 2,75 grammes, une vitesse initiale de 633 mètres à une balle de 15 grammes. La longueur l de l'âme est de 80 centimètres. Le diagramme fait voir que la pression passe par un maximum m de 2450 kilogrammes, lorsque la balle s'est

(1) Le manomètre le plus ordinairement employé aujourd'hui est le *crusher* à écrasement : il se compose d'un petit cylindre en cuivre, logé dans une cavité de la paroi, entre le fond et un piston d'acier qui lui transmet la pression des gaz et le comprime plus ou moins : le cylindre a 13 millimètres de diamètre et 8 de hauteur; le piston a un diamètre un peu supérieur. Après l'expérience, on mesure la hauteur exacte du cylindre et l'on déduit de cette lecture la pression qu'il a supportée, en recourant à une table de tarage établie préalablement. Ces appareils sont vissés dans des trous répartis sur la longueur de l'âme et traversant de part en part la paroi; inutile de dire que le canon est sacrifié à cet effet.

déplacée d'une longueur de 1 centimètre. La pression décroît régulièrement de m en n, c'est-à-dire jusqu'à la sortie du projectile par la bouche : elle est alors de 250 kilogrammes. La durée totale du trajet est d'environ 2 millièmes de seconde ; le maximum m est atteint au bout de 15 à 18 dix-millièmes de seconde ; ces intervalles de temps sont déterminés par un vélocimètre spécial tel que celui du colonel Jounghusband, par exemple.

Les volumes engendrés par le déplacement du culot étant proportionnels aux longueurs l, le diagramme que nous venons de donner est un diagramme en p, v; la connaissance des temps permet, d'autre part, de construire de même un diagramme en p, t, dans lequel les abscisses marquent les temps. La forme des deux courbes est presque la même.

On en déduit aisément le diagramme des vitesses : en effet, dans le diagramme en p, v, l'aire limitée entre l'origine et l'ordonnée xy, correspondante à un avancement déterminé du projectile en un temps t, mesure le travail accompli lorsqu'il a parcouru le trajet ox, ou la force vive qu'il possède à ce moment. On obtient dès lors w en divisant cette force vive par la demi-masse du projectile et en extrayant la racine carrée du quotient. De même, dans le diagramme en p, t, l'aire correspondante donne l'impulsion au temps t ; en divisant cette impulsion par m on obtient encore w. Ces opérations répétées pour divers points donnent la courbe des vitesses ; la figure 2 est relative au même fusil modèle 1866 de la figure 1, et nous avons noté en abscisse les déplacements de la balle, c'est-à-dire les longueurs de l'âme qui ont été parcourues ; la vitesse croît rapidement d'abord, puis, plus lentement, sans passer par un maximum ; elle continuerait, en effet, de croître avec les longueurs de l'âme. Si les artilleurs n'étaient limités par des considérations impé-

rieuses d'ordre pratique, ils seraient amenés par la recherche des grandes vitesses initiales à allonger considérablement les pièces, bien que les accroissements de vitesse obtenus deviennent de plus en plus faibles à partir de cent calibres.

Synthétisant les résultats de la théorie et de l'obser-

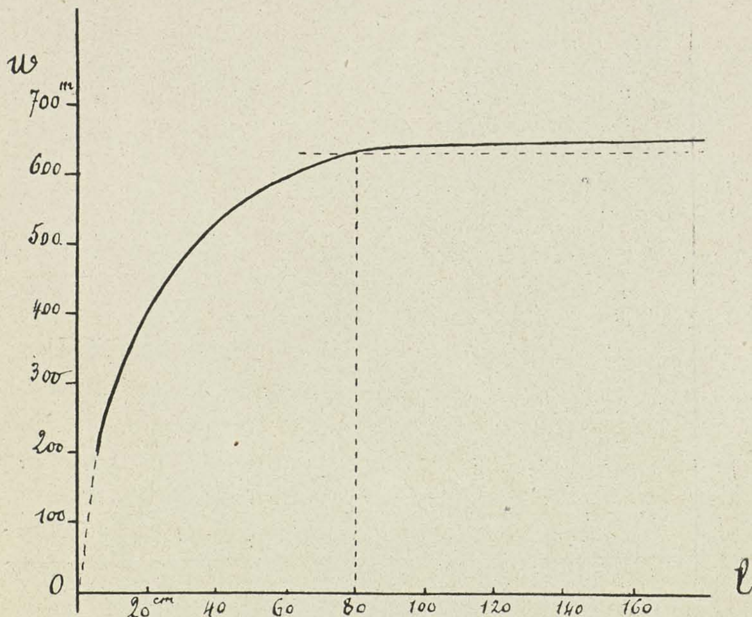


Fig. 2

vation, M. Vallier (1) a établi une formule des pressions en fonction des temps, qui repose sur la connaissance de la pression maximum, du temps au bout duquel elle se développe et du rapport entre la pression maximum et la pression moyenne nécessaire pour produire la vitesse initiale cherchée du projectile.

Cette formule permet de tracer une série de dia-

(1) COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, t. CXXVIII, pp.130-5; 1899, et *Balistique des nouvelles poudres*, pp. 120 et suiv.

grammes dont la comparaison est instructive. Les courbes s'abaissent du maximum *m* (fig. 3) par une ligne à inflexion jusqu'à un point *s*, à partir duquel elles prennent une direction asymptotique à l'axe des temps.

On reconnaît sur chaque courbe les diverses périodes correspondantes d'abord au cisaillement de la ceinture

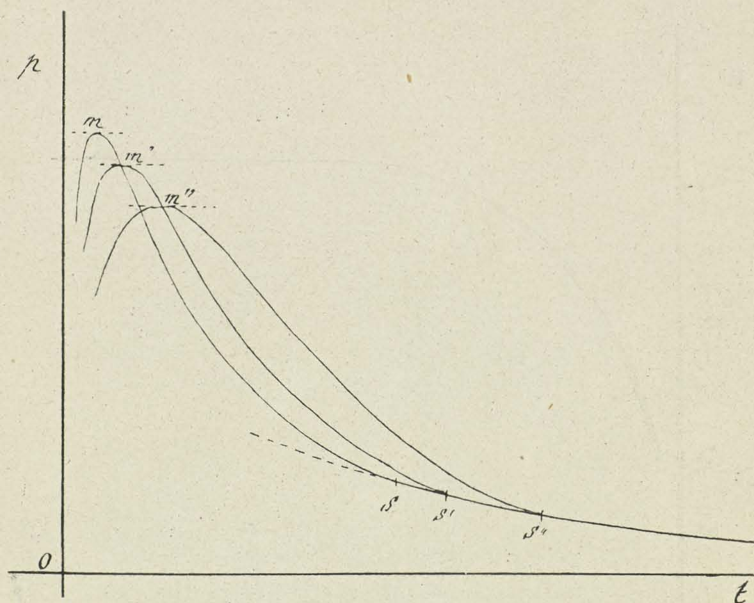


Fig. 3

et au forcement, puis à la combustion progressive de la poudre, et enfin à la détente des gaz brûlés. La partie *ms* de la première courbe est une ligne à longue inflexion, tangente à l'horizontale en *m*, et à l'hyperbole adiabatique en *s*. La position des points *m* et *s* dépend, toutes choses égales d'ailleurs, de la vivacité de la poudre; avec une poudre plus lente, la pression se développe plus tard, et elle n'est plus aussi grande par suite de l'avancement du projectile; la combustion dure plus longtemps, et la ligne à inflexion

se raccorde à l'adiabatique en un point plus éloigné de l'origine. Telles sont les courbes $m's'$ et $m''s''$, qui correspondent à une même masse de poudres également énergiques, mais moins vives.

Prenons acte de ce que les poudres noires donnent des courbes du type ms, alors que les nouvelles poudres B fournissent le type $m'' s''$, toutes choses égales d'ailleurs, répétons-le, et notamment pour une même énergie. Mais la qualité de la poudre n'est pas le seul facteur du phénomène, attendu qu'intervient aussi la pression nécessaire pour mettre le projectile en mouvement, et par suite le poids du projectile, son forcement, le calibre de l'âme et toutes les résistances passives surmontées par l'obus dans sa marche vers la bouche. La forme de la courbe est donc tributaire de la loi du déplacement de l'obus dans l'âme.

En employant dans une arme déterminée des poudres

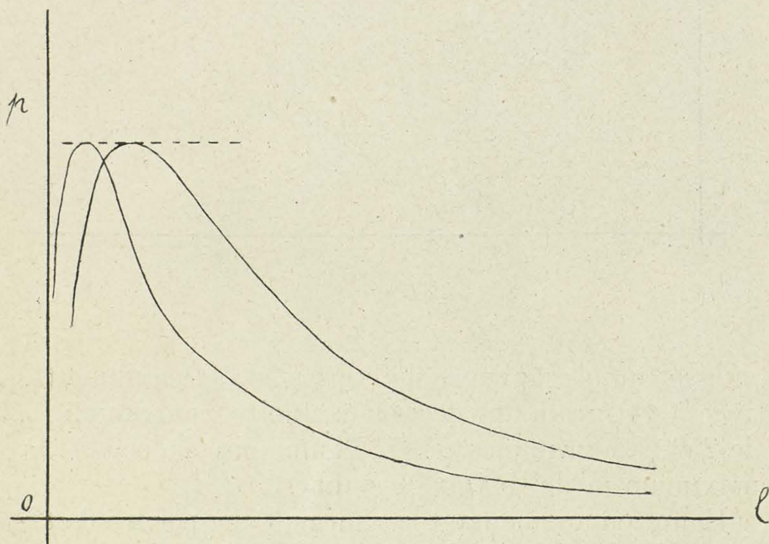


Fig. 4

d'énergie différente, mais qui développent même pression maximum, on relève les diagrammes de la figure 4:

l'expérience montre que les vitesses initiales obtenues dans le cas de la courbe m' sont plus grandes. Ainsi, dans le fusil 1886, 4 grammes de poudre noire donnaient 2500 kilogrammes de pression maximum et une vitesse initiale de 500 mètres ; la poudre B, par contre, pour la même pression de 2500 kilogrammes fournie par une charge de 2,75 grammes, fait naître une vitesse initiale de 600 mètres.

Voici un cas inverse (fig. 5) : on obtient même

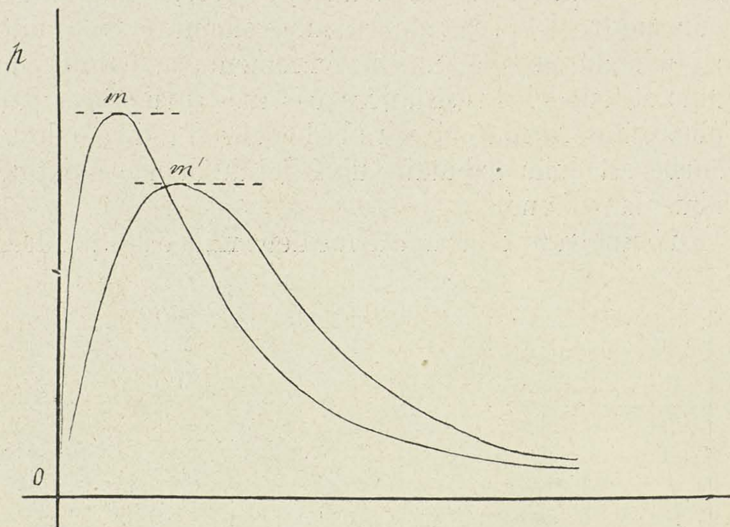


Fig. 5

vitesse initiale de l'obus de la pièce de 90 millimètres avec 1900 grammes de poudre noire, maximum m de 2500 kilogrammes, et 720 grammes de poudre B, maximum m' de 1600 kilogrammes.

Enfin, en augmentant la charge d'une poudre déterminée dans une arme donnée, on aboutit exactement au même effet ; si donc on cherche à réaliser de plus grandes vitesses initiales avec une poudre et une arme quelconques, il faut charger plus fort ; la pression maxi-

mum devient-elle alors trop grande, il convient d'employer une poudre plus lente.

Nous pourrions multiplier ces exemples; ceux qui précèdent suffisent au but que nous poursuivons, et ils font ressortir l'intérêt capital que ces courbes des pressions présentent pour la balistique intérieure et pour la théorie du canon.

Dans les anciens canons en bronze, la pression maximum explosive ne dépassait guère 1700 à 1800 kilogrammes par centimètre carré; on a pu aller à 2500 kilogrammes dans les pièces en acier. Le frettage et le tubage ont permis ensuite de donner à l'âme de la pièce une dureté, une élasticité et une solidité, qui ont rendu possibles des pressions de plus en plus fortes : l'emploi de l'acier-nickel notamment et le frettage Schultz à fils d'acier ont constitué enfin un dernier progrès, à la suite duquel on a abordé sans crainte des pressions de 4500 à 5000 kilogrammes. L'aire du diagramme a crû par suite dans des proportions inattendues, en augmentant la puissance des armes à feu modernes. Les progrès de la métallurgie permettent d'espérer mieux encore.

La surface du diagramme, égale à $\int_0^l p\,dl$, proportionnelle à $\int^v p\,dv$, mesure le travail effectué par l'explosif : ce travail est inférieur à l'énergie potentielle de l'explosif, parce qu'il se produit inévitablement des pertes d'énergie calorifique de toute nature; il est par contre plus grand que la force vive de translation, parce que le projectile surmonte des résistances passives, qu'il ne reçoit pas seulement un mouvement de translation et qu'il n'est pas seul à se mouvoir.

L'énergie potentielle de la poudre est, pour une charge π, égale à $J\pi Q$ ou πW : elle n'est pas disponible en totalité. Et d'abord, la combustion peut n'être pas complète et ne pas fournir le calorique Q, calculé ou mesuré au calorimètre dans une expérience spéciale-

ment faite dans un laboratoire : notons ce déchet pour mémoire. De plus, une partie du calorique est fatalement cédée aux parois de l'âme du canon et perdue de la sorte : or, nous possédons quelques données sur l'importance de cette perte. Le général de Saint-Robert (1) a estimé la déperdition de calorique dans un fusil à 250 calories par kilogramme de poudre noire; la proportion serait donc de 34,4 p. c. Dans le canon, l'action de paroi est beaucoup moins considérable; en effet, d'après Noble et Abel, la quantité de chaleur perdue par kilogramme ne serait plus dans ce cas que de 25 calories, soit dix fois moindre, c'est-à-dire égale à 3,44 p. c. Ce chiffre est vraisemblable, car le projectile met un temps extrêmement court à parcourir l'âme, nous l'avons déjà dit; d'autre part, la faiblesse du rapport $\frac{S}{V}$, rapport de la surface intérieure de la paroi au volume du canon, réduit considérablement l'importance des échanges de chaleur entre les gaz et le métal (2).

Mais il se produit dans le canon une fuite de calories bien plus sérieuse par le fait de la détente fort incomplète des gaz, qui sortent de l'âme encore très chauds, en emportant dans l'atmosphère, en pure perte, une fraction notable de l'énergie calorifique. La figure 1 montre clairement, par son extrémité couverte de hachures, quelle est l'importance de cette perte : on peut la calculer par la formule

$$J\,(u-u') = \pi\ JC\,(T-T')$$

dans laquelle u et u' sont les chaleurs internes en n et

(1) Ces expériences sont rapportées par M. Haesen, *loc. cit.*, p. 236.

(2) Nous avons démontré que la vitesse de refroidissement des gaz est donnée par l'expression $K\frac{S}{V}\epsilon^{1,203 + 0,00048\epsilon}$ pour un excès de température ϵ. Voir notre thèse inaugurale, *De l'effet thermique des parois d'une enceinte sur les gaz qu'elle renferme*, Paris, 1878 et ANNALES DE CHIMIE ET DE PHYSIQUE, 5e série, t. XV, 1879.

en n', et T et T' les températures correspondantes : le moindre accroissement de détente augmente sensiblement le travail. La valeur de la température finale est toujours élevée dans les armes à feu, et égale à plusieurs centaines de degrés, surtout dans certaines pièces. Pour un canon court de côte de 254 millimètres de diamètre, de 6,858 mètres de longueur, M. Longridge estime que le calorique jeté par les gaz dans l'atmosphère occasionne une perte de 85 p. c. ! Mais il faut reconnaître que l'allongement des canons permet de réduire cette perte dans une forte proportion : aussi la construction moderne a-t-elle préconisé les longues armes. On donne actuellement aux canons 30, 40, voire même 60 calibres de longueur, et le rendement s'est élevé progressivement. La perte à la décharge a diminué dans la même proportion : nous n'avons pas de chiffres précis à fournir, mais nous sommes convaincu que dans le fusil modèle 1886, qui a 100 calibres, la température des gaz à la sortie ne dépasse guère 350 degrés centigrades : si la perte à la paroi de cette arme n'était pas si grande, elle aurait un rendement remarquable.

Passons maintenant à l'étude des effets mécaniques engendrés par l'énergie représentée par l'aire du diagramme. La force vive de translation, qui est l'action cherchée par-dessus tout, est loin d'être la seule : M. Longridge détaille et apprécie les effets concomitants inutiles de la façon qui suit (1) :

Force vive du recul de la pièce	0,08	p. c.
» de rotation du projectile sur son axe	0,05	»
» des produits de la combustion	1,97	»
Travail absorbé par le cisaillement et le frottement du projectile	0,07	»
» » par le frottement des résidus	1,81	»
» de déformation élastique du canon	0,022	»
» d'expulsion de l'air	0,017	»
Total. . .	4,019	p. c.

(1) Cité par M. Haesen, *loc. cit.*, p. 238.

Ce bilan est d'une précision peut-être inattendue dans l'espèce, et il faut l'autorité du savant qui l'a dressé pour qu'on l'admette sans formuler d'objection. On serait disposé à penser de prime abord que le travail de cisaillement et de forcement est estimé trop bas, mais l'expérience a démontré que la résistance au mouvement de la balle n'est que de 100 kilogrammes au plus dans le fusil modèle 1886, dans lequel se développent des pressions de 2500 kilogrammes, et que cette résistance ne s'exerce entièrement qu'au moment très court où la balle se moule dans la rayure; dans les canons, elle ne dépasse guère la centième partie de la poussée exercée sur le culot du projectile, et elle n'agit aussi que durant une fraction de sa course. Pour ce qui est du travail absorbé par le frottement des résidus, on l'aurait cru moins considérable mais il n'est pas surfait par M. Longridge, quoiqu'il paraisse; en effet, M. Noble a observé que les vitesses obtenues avec un canon encrassé étaient notablement moindres que celles d'une pièce récemment et soigneusement nettoyée, et que la perte d'énergie peut atteindre, de ce chef, quelquefois 2,73 p. c. de l'effet utile de la charge; le chiffre du bilan ci-dessus est donc justifié comme valeur moyenne.

Adoptant cette estimation pour vraie, nous serions donc conduits à admettre qu'il ne se perd en somme que 4 p. c. de l'énergie développée par le culot du projectile pour le lancer hors de l'arme; le rendement organique du moteur produisant cet effet serait donc de 96 p. c. Ce rendement remarquable s'explique par la suppression de tout renvoi de mouvement; il devait être mis en lumière.

Passons maintenant au moteur à gaz.

Nous prendrons comme objet de nos raisonnements le second type que nous avons défini dans notre *Traité*

des Moteurs à gaz (1), et qui est bien le type générique de la machine moderne; nous l'avons caractérisé par une course de compression moindre que la course de détente, seul moyen d'obtenir une expansion complète des produits de la combustion. Nous supposerons que le cycle s'accomplisse dans un seul cylindre, comme l'a réalisé Atkinson, et que le moteur fonctionne donc à quatre temps.

Dans une première course en avant AB (fig. 6), le piston forme le mélange tonnant d'air et de gaz com-

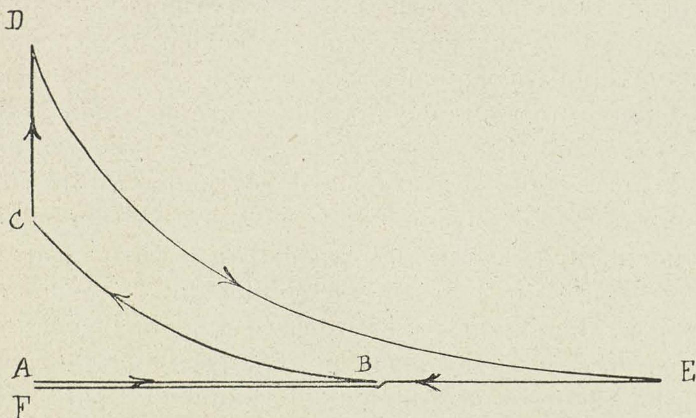


Fig. 6

bustible, et l'introduit dans le cylindre par aspiration, sans travail appréciable : dans notre mise en parallèle du canon et du moteur, nous n'avions donc pas à tenir compte du travail imposé aux servants de la pièce pour introduire la charge dans la culasse.

Mais, en revenant sur ses pas, le piston comprime le mélange suivant l'adiabatique BC, en dépensant un travail représenté par l'aire ACB, qui constitue une

(1) Cf : T. I, pp. 277 et suiv., 4e édition, 1903. Le type Otto, à courses égales, est un cas particulier de notre type générique; il présente une imperfection de cycle, par suite de la limitation forcée de la détente, et son rendement est conséquemment moindre.

fraction variable, mais toujours notable de l'aire totale ADEA. Ce travail est négatif, car il est subi par le mélange tonnant et non pas engendré directement par lui ; toutefois il est récupéré dans la période explosive, attendu que le point D est relevé d'autant, comparativement à ce qui se produit pour le mélange non comprimé préalablement à l'explosion.

Cette compression est un des facteurs les plus efficaces d'un bon rendement, nous l'avons démontré dès le début de nos recherches, par des considérations empruntées à la théorie et à l'expérience (1) ; elle ne joue pas seulement le rôle de la densité de chargement dans le canon, elle possède dans l'espèce une importance beaucoup plus grande, car elle ne se traduit pas uniquement par une surélévation de la pression explosive et de la température des produits de l'explosion, mais encore elle contribue grandement à réduire les pertes par la paroi : par le fait, elle agit sur le régime de combustion du mélange. Aussi les ingénieurs ont-ils pris pour objet de leurs recherches de développer les compressions le plus possible. Otto avait timidement commencé par 3 ou 4 kilogrammes par centimètre carré ; l'emploi de son tiroir de distribution ne lui permettait guère de monter plus haut. Delamare-Deboutteville fut plus audacieux, et son exemple fut suivi rapidement par tous les constructeurs : en adoptant les soupapes, on pouvait aller à 8, 10, 12, voire même 14 kilogrammes, et l'on n'était plus arrêté que par le risque des allumages prématurés et par des considérations accessoires de douceur et de sécurité de fonctionnement et de bonne conservation des machines. M. Diesel avait conçu le projet de comprimer à 250 kilogrammes en prenant la précaution

(1) Nous renverrons à nos *Études sur les moteurs à gaz tonnant*. Paris, Gauthier-Villars, 1883.

d'injecter le carbure dans le cylindre après avoir achevé la compression ; mais il a été forcé de s'en tenir à 35 kilogrammes. C'est à cette haute compression qu'est dû le remarquable rendement de son moteur à pétrole. Mais que nous sommes encore loin des formidables compressions pratiquées dans le canon !

Une autre préoccupation très rationnelle des constructeurs est de maintenir la compression constante à toute charge.

La composition du mélange est d'abord déterminée par le réglage fixe des orifices d'admission du combustible et du comburant. Tout ingénieur, qui a procédé à des essais de moteurs, retrouvera dans ses souvenirs la confirmation de l'importance qu'exerce sur le rendement la préparation d'un mélange ; de même que, en artillerie, chaque canon exige sa poudre, de même en moteurs, il y a pour chaque machine et pour chacun de ses régimes de marche, de charge et de vitesse, un mélange meilleur. Dans les moteurs à réglage *par tout ou rien*, avec passages à vide, la composition ne changeait pas, si toutefois le gaz restait le même, gardant son pouvoir calorifique, sa température et sa pression ; ce genre de machines bénéficiait de cette constance, et fournissait d'excellents résultats au point de vue de la consommation de gaz. Mais il devenait difficile pour les puissantes machines d'opérer le réglage par le nombre des coups moteurs à la minute, et l'on a été amené à faire varier le travail par coup en agissant à la fois sur la richesse du mélange et sur la quantité admise : c'est au régulateur qu'est dévolue cette tâche difficile.

C'est lui qui maintient l'égalité du couple moteur et du couple résistant, quel que soit ce couple ; le travail à effectuer vient-il à diminuer, il faut que le régulateur agisse aussitôt de lui-même, appauvrisse le mélange et réduise la quantité admise, au risque de faire baisser

la compression, ce qu'on n'évite qu'à l'aide de dispositifs spéciaux, quelquefois compliqués. C'est le moment critique pour bien des machines, qui consomment beaucoup plus de calories par cheval-heure effectif à demi-charge qu'à pleine charge; cet effet est dû certainement en partie à une diminution du rendement organique, mais ce facteur n'est pas seul en cause, attendu que la consommation par cheval-heure indiquée augmente aussi. Il faut en rechercher la raison principale dans la modification survenue dans l'état de l'explosif moins riche, souvent moins comprimé, moins homogène surtout : le canon n'a plus la charge qui lui convient!

M. Letombe avait conçu l'idée, rationnelle et très ingénieuse, de surcomprimer le mélange lorsqu'il était admis en moindre quantité, de manière à maintenir une bonne combustion à toute charge : le résultat a répondu aux espérances de l'inventeur et ce moteur est resté économique aux charges réduites.

D'autres ingénieurs ont voulu compenser la pauvreté du mélange ou sa moindre compression, qui diminue aussi sa sensibilité, par une modification de l'allumage. On ne saurait nier que, dans le moteur comme dans le canon, la nature de l'amorce doit changer avec cette sensibilité du mélange explosif; de même qu'avec les poudres *pebbles* ou prismatiques il y a eu avantage à joindre à l'étoupille un adjuvant, de même dans les moteurs on doit retirer un bénéfice à projeter un dard de flamme à travers le mélange, pour provoquer une mise de feu rapide et complète et éviter les longs feux. Otto, dans son célèbre moteur de 1876, cantonnait déjà un mélange plus riche dans le canal d'allumage; le procédé était heureux et il était efficace, surtout avec les faibles compressions qu'on pratiquait alors. On y est revenu avec succès, notamment dans un des derniers modèles de la Société Cockerill. Mais cette manière de faire donne surtout des résultats sensibles,

lorsque le mélange est peu homogène : dans un mélange bien dosé, bien brassé, de même richesse en tous ses points, du moment qu'il est inflammable, il suffit de développer à l'allumeur la température requise pour le faire détoner, et il n'y a pas à rechercher autre chose. Avec un tube à incandescence amené au rouge-blanc, ou encore avec une bougie électrique donnant une belle étincelle bien nourrie, les faux allumages sont imputables bien plutôt à la mauvaise constitution du mélange qu'à l'énergie de l'allumeur. Si un moteur donne des ratés, il n'en faut pas accuser uniquement le boute-feu, lequel n'en est souvent pas responsable, mais il convient de regarder autour de lui et de s'assurer qu'il trouve réellement quelque chose à allumer ; bien souvent, il se forme autour de lui une remise de gaz déjà brûlés, donc ininflammables, par suite d'une forme défectueuse de culasse ou d'une position mal choisie de la bougie.

Les conducteurs d'automobiles ont mis en honneur l'avance *apparente* à l'allumage, dont ils obtiennent d'heureux résultats en bien des circonstances : en réalité, en donnant de l'avance, ils arrivent à allumer strictement au point mort, c'est-à-dire au moment du maximum de compression, donc au moment où le mélange tonnant est dans les meilleures conditions d'inflammabilité. Un retard à l'allumage, effectué derrière un piston qui fuit déjà avec une certaine vitesse devant l'explosion, alors que le mélange a subi un commencement de décompression, a pour conséquence une mise de feu moins bonne et des combustions imparfaites.

Le mouvement du piston diffère essentiellement de celui du projectile, qui est un piston libre, alors que celui du moteur est assujetti à suivre une loi sinusoïdale : sa vitesse croît progressivement, atteint son maximum au milieu de la course, puis décroît pour revenir à une valeur nulle. La détente des gaz brûlés

est, par suite, beaucoup moins rapide et moins adiabatique que dans le canon : cette condition est beaucoup moins favorable à la bonne utilisation de la chaleur, ainsi que nous l'avons démontré, et nous trouvons là un nouvel élément d'infériorité du moteur sur le canon, élément imposé par la nature même de la machine, qu'on peut regretter, mais qu'il faut subir.

Le forcement de la ceinture du projectile dans la rayure réalise, d'autre part, une étanchéité rigoureuse que le moteur à gaz atteint rarement et que nous signalerons sans y insister davantage.

La courbe des pressions en fonction des volumes, autrement dit le diagramme du moteur, se relève avec une rare précision à l'aide de l'indicateur : cet admirable instrument, œuvre du génie de Watt, permet d'analyser dans ses moindres particularités le développement des combustions qui s'opèrent dans le cylindre. Théoriquement, nous retrouvons dans le diagramme les phases de combustion avec détente et de détente simple, telles qu'elles sont définies par M. Vallier; elles sont mises en évidence sur la figure 7 par les lignes à plus ou moins longue inflexion ms, $m's'$ et $m''s''$; mais dans la pratique, la position du point s se reconnaît difficilement. D'après M. Slaby (1), cette ligne ms serait très courte; M. Petréano (2), au contraire, la croyait très longue; en réalité, son développement dépend de l'allure de la combustion. Le diagramme A de la figure 7 indique une combustion presqu'instantanée; tout le calorique est déjà développé en m et la détente commence aussitôt; sur le diagramme B au contraire, il y a combustion prolongée (c'est le *nachbrennen* des Allemands) de m' en s', et la détente simple ne commence qu'en s'; il semble que pour le

(1) M. Slaby, *Calorimetrische Untersuchungen über den Kreissprocess der Gasmaschine*; 1894.

(2) Petréano, EINE NEUERUNG AN GASKRAFTMASCHINEN. Zeitschrift, 1897.

diagramme C la combustion ne soit même pas terminée à la fin de la course. Ce dernier cas correspond à l'observation de M. Petréano : il est le résultat d'une mauvaise constitution du mélange, et il est caractérisé par un faible rendement, ainsi qu'on devait le prévoir,

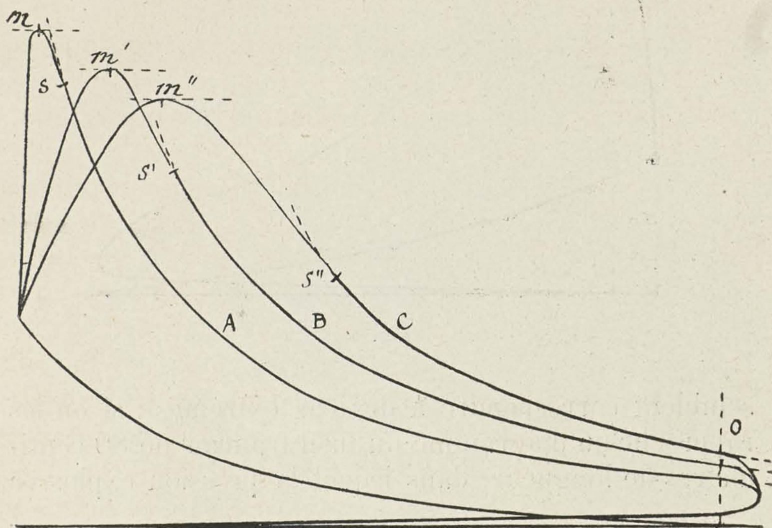


Fig. 7

attendu que le calorique disponible n'est ni complètement développé par une réaction qui n'a pas le temps de se parachever, ni complètement utilisé par une détente moins prolongée. Ce dernier résultat se lit directement sur le diagramme. Ce sont les points *o* qui marquent la fin de la détente et le commencement de l'échappement anticipé.

Cette détente est rarement poussée assez loin dans les moteurs du genre Otto : tel est le cas du diagramme de la figure 8 dans lequel la détente n'abaisse la pression qu'à 3,8 kilogrammes. Il est vrai que, dans les moteurs récents, on épuise plus complètement l'énergie des

gaz brûlés, ainsi qu'on le voit sur le diagramme de la figure 9, pris sur le dernier modèle des moteurs à gaz de haut-fourneau de la Société Cockerill; la pression tombe à 1,7 kilogramme à fin de détente. Ces deux courbes

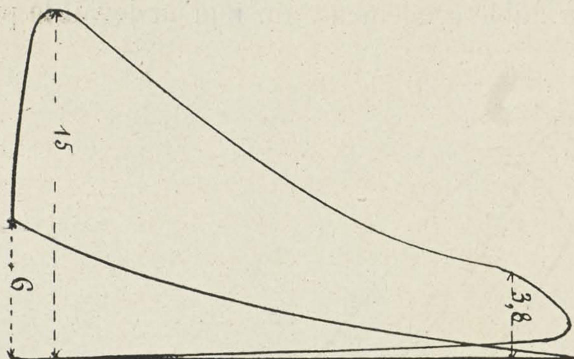


Fig. 8

semblent correspondre à des cas extrêmes : si on les rapproche du diagramme du fusil français de 80 centimètres de longueur, dans lequel la pression explosive

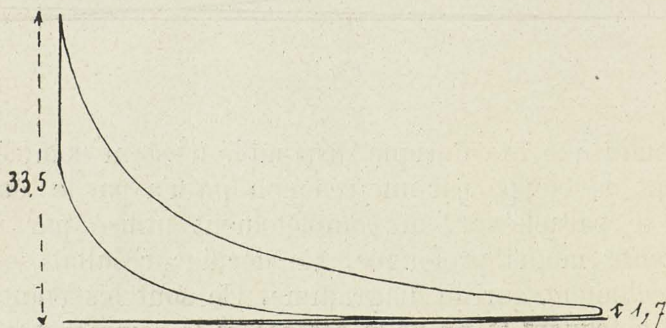


Fig. 9

atteignait 2450 kilogrammes, alors que la pression à la sortie de l'arme n'était que de 250 kilogrammes (voir fig. 1, p. 35), on doit reconnaître qu'ici la chute de tension conduit à une détente au dixième environ, tandis

qu'elle ne va qu'au quart dans un grand nombre de moteurs à gaz. Nous sommes donc en droit de conclure que, dans la plupart des moteurs, la détente est moins complète que dans le fusil auquel nous les comparons.

La température à la fin de la course des gaz brûlés est généralement aussi fort élevée dans les moteurs : au cours des remarquables essais, poursuivis avec une habileté consommée et une patience rare par M. Burstall, pour le *Gas Engine Research Committee* (1), on a constaté dans l'intérieur du cylindre des températures d'échappement de 700 à 800 degrés, qui correspondaient, il est vrai avec une détente fort incomplète. Un moteur Charon eût donné des températures beaucoup moins élevées, mais encore supérieures à 500 degrés dans le cylindre et égales à 350 degrés à l'entrée des gaz dans la conduite d'échappement. Dans ce remarquable moteur, la détente était très prolongée à faible charge; malheureusement, la compression diminuait en même temps, par le fait du remisage d'une partie du mélange comprimé.

Quelle que soit la détente, les produits de la combustion sont rejetés dans l'air avec une certaine vitesse et ils y portent une force vive qui est perdue, au détriment du rendement du moteur. MM. Crossley avaient découvert un moyen ingénieux d'utiliser cette force vive, en créant leur remarquable moteur à balayage (*scavenging engine*), dont le but était d'assurer surtout une expulsion complète des gaz brûlés hors du cylindre et d'y appeler une charge d'air pur. A cet effet, ils donnaient au tuyau de décharge une grande longueur rectiligne d'une vingtaine de mètres; les gaz brûlés, en prenant le chemin de l'atmosphère, avec une grande vitesse, provoquaient

(1) Les recherches du Comité ont fait l'objet de quatre rapports publiés par THE INSTITUTION OF MECHANICAL ENGINEERS, de 1898 à 1901 ; il est seulement regrettable que ces belles expériences aient porté sur un petit moteur d'un rendement médiocre.

derrière eux dans le cylindre, en vertu de leur inertie, un vide relatif; l'ouverture de la soupape d'admission d'air, effectuée à ce moment avec un peu d'avance, provoquait le passage à travers la culasse d'un certain volume d'air frais, qui opérait le balayage cherché. M. Atkinson a démontré par des expériences précises que cette manière de faire était avantageuse.

Les nombreuses études, dont la théorie expérimentale des moteurs a été l'objet, ont jeté une vive lumière sur la manière dont le calorique y est utilisé; les résultats diffèrent évidemment d'un moteur à l'autre, non seulement par la somme, mais encore par la répartition des pertes : cela devait être. C'est ce qui donne un grand intérêt aux bilans que l'on peut dresser du fonctionnement d'un bon moteur.

Le bilan suivant a été établi à la suite d'expériences très soignées que nous avons poursuivies, pendant plusieurs jours, à Birmingham, sur un moteur Tangye de 253,9 millimètres de diamètre, $0^{m},483$ de course, développant 28 chevaux par 203,8 tours à la minute : il était alimenté de gaz de ville, dont le pouvoir supérieur a été trouvé égal à 5383 calories par la bombe. L'eau de circulation de l'enveloppe du cylindre en sortait à une température de 42 degrés; les gaz avaient dans le tuyau de décharge une température de 524 degrés. Un essai complet, qui n'a malheureusement pas correspondu au meilleur rendement, a conduit aux chiffres suivants :

Perte par l'eau de circulation	35,3 p. c.
» la décharge des gaz	23,0 »
» rayonnement et conductibilité . .	4,2 »
» les résistances passives	13,6 »
Utilisation en travail effectif	23,9 »

L'eau de circulation emportait donc plus du tiers des calories disponibles; cette proportion paraît élevée, mais elle est souvent dépassée dans les moteurs. Les

gaz de l'échappement rejettent de la chaleur dans l'atmosphère en proportion moindre; la somme des deux pertes s'élève au total à 58,3 p. c. dans le moteur considéré; avec les pertes par rayonnement et conductibilité on arrive à 62,5 p. c. Voilà, évidemment, un déchet considérable de fonctionnement qu'il faudrait pouvoir réduire; on cherche à le faire, depuis vingt-cinq ans au moins, sans y réussir comme on l'aurait voulu.

Une discussion des éléments de cette grave question nous donnera la raison de cet insuccès.

Et d'abord, nous ferons observer que cette perte de calories présente le caractère particulier d'être en majeure partie inévitable; il faut en effet nécessairement qu'une fraction du calorique soit portée au réfrigérant. D'autre part, il n'y a aucun moyen de supprimer entièrement les échanges de calorique avec les parois et avec l'ambiant. A un point de vue plus essentiellement pratique, l'obligation s'impose strictement de ne pas permettre un échauffement excessif du métal formant la paroi du cylindre et de ses accessoires, pour assurer leur conservation; il faut aussi empêcher à tout prix les allumages prématurés du mélange tonnant pendant qu'on le comprime, et l'on est amené ainsi à refroidir par un courant d'eau non pas seulement le cylindre, mais encore la culasse, les soupapes de distribution, le piston et sa tige; enfin, il faut maintenir à basse température les canaux de préparation et d'admission du mélange pour ne pas réduire la densité et, par suite, la masse de la charge ce qui, par le fait même, diminuerait la puissance de la machine. Tout cela s'impose, surtout dans les gros moteurs; on ne peut l'éviter; mais encore ne faut-il pas l'exagérer. A notre sens, on doit s'en tenir à ce qui est nécessaire. Refroidir à l'excès le cylindre par un courant d'eau trop abondant est une multiple erreur; c'est d'abord un gaspillage inutile d'eau et de calories, ces dernières étant emportées hors

du cycle et jetées au ruisseau en pure perte; de plus, le contact d'une paroi froide trouble les réactions explosives, nuit à leur développement régulier et occasionne des combustions imparfaites (1). Qu'on se contente donc de maintenir les parois métalliques à la température la plus compatible avec le bon fonctionnement du moteur, sans faire plus.

Mais on nous a demandé ce que deviennent les calories gagnées en procédant ainsi : tout ce que vous économisez sur l'eau de circulation, nous a-t-on dit, vous le perdez ensuite sur l'échappement, puisque les gaz brûlés, restés plus chauds, déversent dans l'atmosphère le calorique qu'ils ont gardé; et l'on a argué de ce que la somme des chaleurs perdues par le fait de l'eau de circulation et de la décharge des gaz est généralement constante : à quoi sert donc d'être avare conservateur d'une valeur qu'il faut perdre tout de même?

Cette objection est un sophisme spécieux qu'il nous sera facile de réfuter. Et d'abord, il ne faut pas élever à la hauteur d'un axiome la compensation exacte et fatale du gain réalisé sur l'eau de circulation par la perte subie sur les gaz de la décharge : il en est souvent ainsi, mais il n'en est pas toujours ainsi et surtout il n'en est pas nécessairement ainsi, l'expérience le démontre. La compensation n'existe que dans les cas de courte détente, et cela est facile à expliquer; en effet, dans ce cas, il faut nécessairement que les calories économisées sur la paroi soient gaspillées d'autre part. Au contraire, dans les moteurs à longue détente, ces calories sont transformées en travail et il y a, dès lors, réel bénéfice à fonctionner en paroi chaude. C'est un résultat indirect des grandes détentes qui deviennent ainsi le facteur le plus efficace des beaux rendements.

Les considérations que nous venons de présenter

(1) Cf. : *Études sur les moteurs à gaz tonnant*, p. 54.

éclairent le débat qui s'est élevé jadis, lors de la publication de nos expériences de laboratoire, par lesquelles nous avons démontré les effets des parois sur les gaz qui se détendent derrière un piston moteur. Quelques ingénieurs s'étaient inscrits en faux, non pas contre les lois que nous avions formulées, mais contre les applications pratiques que nous en avions faites (1); leur argumentation reposait surtout sur l'inefficacité constatée, pour certains moteurs, d'un fonctionnement à haute température de paroi; or, cette inefficacité était fatale pour les moteurs qui avaient été mis en expérience, parce qu'on n'y faisait rien des calories économisées sur la paroi; les résultats qu'on nous opposait n'étaient donc pas probants. Ils n'avaient d'ailleurs pas la généralité qu'ils auraient dû présenter et qu'on leur prêtait.

La construction des grands moteurs à gaz, qui s'est largement développée depuis lors, et qui a imposé un refroidissement très énergique des parois du cylindre, a paru d'abord justifier les thèses opposées à la nôtre en ce que le refroidissement ne mettait pas obstacle à la réalisation de rendements thermiques excellents. Mais, ici encore, il convient d'en appeler d'un premier jugement trop précipité à une appréciation plus exacte des faits. En effet, la pratique a démontré que les moteurs de grande puissance n'ont pas, toutes choses égales d'ailleurs, de rendement thermique indiqué supérieur à celui des petits moteurs, alors que pourtant la valeur du rapport $\frac{S}{V}$ de la surface du cylindre à son volume était beaucoup plus faible; donc, ce rendement aurait dû croître; pourquoi a-t-il gardé la même valeur? Est-ce

(1) Slaby, *Der Einfluss der Wandungen in den Gasmotoren*, et Witz, même titre dans ZEITSCHRIFT DES VEREINS DER DEUTSCHEN INGENIEURE, t. XXX, 1886. — Witz, *Réponse à quelques objections contre l'action de paroi*, Société Industrielle du Nord.—Voir aussi notre *Traité des Moteurs à gaz*, t. I., pp. 365 et suivantes.

parce que ce rapport $\frac{S}{V}$ n'a pas d'influence sur les phénomènes qui se succèdent dans les cylindres? Nullement. Le rendement est le même pour petits et gros cylindres parce que, dans ces derniers, il y a refroidissement excessif de la paroi et, par suite, compensation d'effets : la nécessité de marcher plus froid que dans les petits moteurs fait perdre l'avantage que les gros moteurs devraient avoir sur les petits.

Nous persistons donc à recommander de comprimer le mélange le plus qu'on le peut, de produire des explosions à volume constant, de ne refroidir les parois que dans la juste mesure de ce qui est nécessaire, de détendre les gaz brûlés le plus vite et le plus complètement qu'on peut le faire. Que l'exemple du canon et de son remarquable rendement nous serve de leçon.

Mais nous n'avons pas encore épuisé la série des indications qui ressortent de notre parallèle.

Le moteur Tangye, dont nous avons donné le bilan, nous avait fait constater, dans les essais rapportés ci-dessus, un rendement thermique indiqué de 27,9 p. c. et effectif de 23,9; il est intéressant de rapprocher ces chiffres de ceux que l'on calcule théoriquement.

En considérant les cycles fictifs, qui mettent en jeu les mêmes quantités de chaleur par des moyens comparables à ceux que nous voyons employés dans le cylindre des moteurs, nous avons établi des formules de rendement qui permettent d'évaluer la plus ou moins bonne utilisation du calorique. Pour les moteurs à compression et explosion, dans lesquels les températures successives sont t, θ, T et t', le coefficient d'utilisation est donné par la formule

$$\rho = 1 - \gamma \frac{t' - t}{T - \Theta}$$

dans laquelle γ représente le rapport des chaleurs spéci-

fiques à la température T (1). En effectuant les calculs qui donnent les valeurs des températures en fonction des données du moteur et du mélange admis dans le cylindre, on constate que, pour une compression de 5 kilogrammes, qui est à peu près celle du moteur Tangye précité, le rendement théorique indiqué devrait être de 44 p. c.; or, nous avons trouvé 27,9 p. c.; la différence est due aux imperfections du cycle et aux actions de paroi, ainsi qu'à certaines pertes dont la théorie générique ne tient pas compte. C'est sur cette différence de 16 p. c. qu'il y a un bénéfice à réaliser : il vaut la peine d'être recherché, bien qu'en vérité on ne puisse espérer en gagner plus du tiers.

Les résistances passives absorbent 13,6 p. c. dans le petit moteur Tangye; son rendement organique ressort donc à 86,4 p. c.; c'est celui que fournissent la plupart des machines les mieux conditionnées et les mieux construites. On trouve souvent moins et rarement mieux, même dans les puissants moteurs à double effet. M. Riedler (2) a déduit de ses belles expériences sur le moteur de 1100 chevaux, à deux cylindres à double effet en tandem, installé à Rombach par la Société de Nüremberg, une valeur du rendement organique de 83 p. c. qui nous a paru faible, étant donnée la qualité du moteur et de son constructeur; dans nos derniers essais, effectués de concert avec M. Hubert sur le moteur Cockerill, analogue au précédent, d'une puissance de 1500 chevaux, nous avons trouvé pour le rendement organique la valeur très élevée de 93 p. c. dans certaines conditions particulières de fonctionne-

(1) Quelques auteurs se refusent à admettre notre fiction du cycle fermé et ils appliquent simplement le principe de l'équivalence à la deuxième et à la troisième course; ils sont conduits au même résultat que nous, si toutefois ils admettent les mêmes hypothèses sur les chaleurs spécifiques et leur rapport. A noter que cette théorie traite rigoureusement le moteur comme un canon, alors que notre théorie cyclique le considère comme un moteur à air chaud.

(2) Riedler, *Grosse Gasmaschinen*. Berlin, 1905.

ment, de réglage et de charge. Nous avons, il est vrai, dans nos calculs, tenu compte de la partie négative du diagramme qui représente trois centièmes de l'aire totale : on a donc grand tort de la négliger. Quoi qu'il en soit, nous retiendrons cette valeur de 93 comme un maximum, qui n'est presque jamais atteint, la valeur moyenne des meilleurs essais ne dépassant pas 88 ou 89 p. c. Or, nous avions trouvé 96 pour le canon : c'est une nouvelle explication de sa prééminence sur le moteur.

La théorie générique des moteurs nous conduit enfin à une dernière considération d'une importance capitale : soit qu'on admette l'existence d'un cycle parcouru périodiquement, soit qu'on traite le moteur comme un véritable canon auquel on applique le principe de l'équivalence, ainsi que quelques thermodynamistes le demandent, on est toujours amené à constater que le rendement est d'autant meilleur que la température explosive T est plus haute, et que la chute est plus grande du foyer au réfrigérant. Le cycle de Carnot, qui est le prototype du cycle des machines thermiques, utilise le mieux le calorique quand le foyer est à la température la plus élevée possible pour une température donnée du réfrigérant : cette considération des températures explique théoriquement la prééminence du moteur à gaz sur la machine à vapeur : elle nous expliquera de même celle du canon sur le moteur à gaz. L'expérience confirme cette déduction de la théorie d'une manière indiscutable; les avantages de la surchauffe dans les machines à vapeur, et de la production des explosions à volume constant dans les moteurs à gaz, sont des faits admis par tous les ingénieurs; le rendement supérieur du canon devra être retenu comme un nouvel argument en faveur d'une thèse qui n'en avait nul besoin.

Conclusions

L'ampleur des développements qui précèdent nous permettra de formuler des conclusions brèves, nettes et précises.

Pourquoi le rendement thermique effectif du canon et des armes á feu surpasse-t-il celui du moteur á gaz, la meilleure des machines á feu?

L'adaptation parfaite des propriétés des poudres á chaque arme, en vue du meilleur effet á produire; la compression considérable subie par les gaz engendrés par la décomposition des poudres; la haute température T développée par l'explosion dans un intervalle de temps extrêmement court, et conséquemment la transformation opérée á volume constant, avant que le projectile ait pu avancer sensiblement; la combustion excellente et la longue détente subie par les gaz brûlés en quelques millièmes de seconde; l'étanchéité produite par le forcement du projectile et, enfin, la valeur considérable du rendement organique : voilá les causes immédiates de la prééminence du canon sur le moteur au point de vue de l'utilisation du calorique.

Mais ces diverses causes n'ont pas la même efficacité, ni la même importance.

Celle qui est la plus agissante et la plus générale, celle qui résume toutes les autres et que nous voulons surtout faire ressortir, c'est la diminution de l'action nuisible des parois résultant de cette détente rapide et complète, effectuée dans un cylindre qui n'a pas le temps d'emprunter de la chaleur á la réaction puissante qui s'y développe. La paroi du canon en garde 3,44 p. c., alors que l'eau de circulation de l'enveloppe du moteur en prend 30 p. c. au moins; et le calorique économisé de la sorte dans le canon est économisé utilement, puisque les gaz y subissent une longue détente.

L'argument est décisif; il est confirmé du reste par un fait historique que nous devons rappeler.

En 1867, apparaissait à l'Exposition de Paris un petit moteur, venu de Cologne, laid de formes, d'une physionomie étrange, à la marche saccadée et bruyante; au ferraillement des organes se mêlaient des détonations d'armes à feu, qui épouvantaient et mettaient en fuite les assistants : c'était le moteur Langen et Otto. Le cylindre, très long et de faible diamètre, renfermait un piston dont la tige était reliée à l'arbre de couche par un mécanisme curieux de pignon et crémaillère, laissant toute sa liberté au piston dans sa montée et n'embrayant qu'au moment de la descente. Le piston libre était donc lancé en l'air par l'explosion comme un véritable projectile, à grande vitesse : le nom qui convenait le mieux à cette machine était bien celui de moteur-canon. En réalité, c'était une machine atmosphérique, sans compression, dont la puissance n'atteignait pas 50 kilogrammètres par seconde, soit deux tiers de cheval. Or, à demi-charge, elle ne consommait que 742 litres de gaz de ville par cheval-heure effectif. Ce résultat, nettement établi par les essais de Meidinger, était absolument extraordinaire à cette époque, en 1868; aujourd'hui, encore, il n'a été dépassé par aucun moteur dans les conditions de puissance et de charge que nous venons de dire, et sans compression préalable. Il n'y a qu'une seule manière d'expliquer le fait : il faut invoquer la réduction au minimum de l'action nuisible des parois; en effet, la quantité de chaleur enlevée à la machine par l'enveloppe d'eau du cylindre n'atteignait pas la dix-septième partie de la chaleur totale de combustion du gaz consommé, elle était inférieure à 6 p. c.

Cet exemple et ces chiffres sont caractéristiques.

Pour perfectionner le moteur à gaz, il faut donc prendre modèle sur le canon, et chercher à opérer des

détentes rapides et complètes, dans un cylindre qu'on ne refroidira que dans la mesure nécessaire; en un mot, c'est contre l'action de paroi qu'il faut lutter. Il nous a paru utile de le démontrer une fois de plus, par des arguments nouveaux.

Aimé Witz.

LES

EAUX ALIMENTAIRES DE BELGIQUE

L'eau alimentaire constitue l'un des facteurs les plus importants de la salubrité publique; aussi est-elle dans tous les pays l'objet des préoccupations des personnes qui s'intéressent aux progrès de l'hygiène. La question a déjà été traitée, à cette place, à certains points de vue généraux (1).

Cette étude, relative aux eaux potables de la Belgique, portera d'une façon sommaire (2) : 1° Sur nos terrains et couches aquifères; 2° Sur les divers modes d'approvisionnement; 3° Sur le degré d'abondance des volumes disponibles; 4° Sur la qualité des eaux et les causes de contamination; 5° Sur les mesures projetées pour améliorer la situation.

I. — Terrains et couches aquifères (3)

On distingue d'abord, d'une manière générale, au point de vue hydrologique, entre les terrains compacts et les terrains meubles.

Les premiers, qui appartiennent principalement aux

(1) A. Boulangé, *La Recherche des sources,* Rev. des Quest. sc., 1879, t. VI, p. 124. — Ch. Lagasse-de Locht, *Sur le choix du meilleur système d'alimentation d'eau pour une grande agglomération,* Ibid., 1891, t. XXX, p. 582.

(2) Pour un exposé plus détaillé, voir *Enquête sur les Eaux alimentaires;* Ministère de l'Agriculture; 2 vol., 1902 et 1906.

(3) Voir la carte ci-jointe.

groupes primaire et secondaire, se rencontrent à la surface du sol ou à peu de profondeur en Ardenne, dans la Famenne, le Condroz, l'Entre-Sambre-et-Meuse, le Pays de Herve, la Hesbaye sud, le Brabant, le Hainaut et le Bas-Luxembourg.

Les seconds, qui sont des détritus et des produits d'altération des roches compactes, recouvrent celles-ci sous une faible épaisseur dans les régions précitées ou forment, dans la Hesbaye, le Brabant, le nord du Hainaut, la Campine et la Flandre, les épais dépôts des groupes tertiaire et quaternaire.

Les roches compactes sont toutes imperméables de leur nature. L'eau ne peut s'y accumuler que dans les parties supérieures délitées ou dans les fissures constituées par les joints de schistosité ou de stratification et par les diaclases. Les venues d'eau les plus importantes, dans les régions à sous-sol compact, sont fournies par les calcaires, généralement criblés de fissures communicantes.

Les terrains meubles sont constitués par des alternances d'argiles ou de marnes imperméables et de graviers, de sables ou de sables argileux plus ou moins perméables et aquifères. Les nappes liquides libres s'y rencontrent à des profondeurs en rapport avec l'épaisseur de la partie de la couche perméable située au-dessus de l'exutoire, source ou cours d'eau. Les nappes aquifères captives ou artésiennes sont recélées à des niveaux très variables.

Passons rapidement en revue les ressources aquifères de nos diverses séries de formations géologiques (1).

(1) Les figures à l'échelle du 80 000e intercalées dans le texte ci-après permettent de se rendre compte de la situation, aux points de vue topographique et géologique, de quelques-uns des principaux ouvrages de captage d'eau mentionnés.

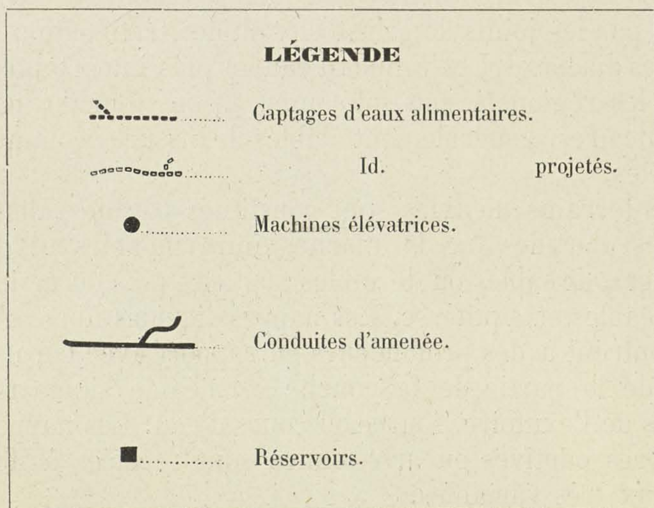
Voir ci-dessous la légende commune à ces figures.

Les notations géologiques sont conformes à celles de la nouvelle carte au 40 000e.

Eaux des terrains des systèmes cambrien, silurien et dévonien inférieur

Ces terrains consistent en quartzites, grès, arkoses, poudingues, quartzophyllades, quartzschistes, psammites, grauwackes, phyllades et schistes.

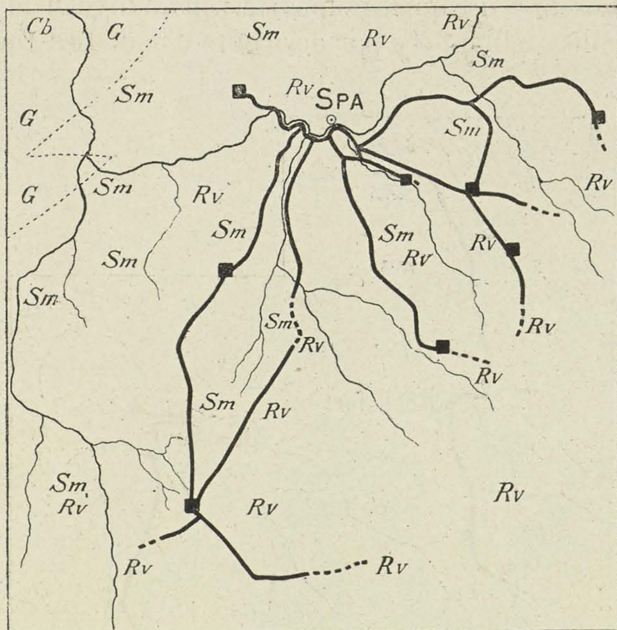
Les quartzites, les phyllades, les schistes et les argiles détritiques sont imperméables. Les quartzophyllades, les quartzschistes, les psammites et les grauwackes donnent, par altération, des détritus sablo-argileux, limoneux ou pierreux, plus ou moins perméables. Les



grès et surtout les graviers et les sables détritiques qui en dérivent, sont perméables et aquifères.

Des eaux recueillies soit dans les fissures des roches compactes, soit dans les détritus perméables, parfois augmentées d'eaux provenant de dépôts de terrains post-primaires ou de fagnes, alimentent un grand

nombre de communes, toutes celles de l'Ardenne notamment (parmi lesquelles nous citerons Spa, Stavelot, Vielsalm, Bastogne, Houffalize, Laroche, Saint-Hubert, Neufchâteau, Bouillon), et un bon nombre de celles du nord du Condroz (Stembert, Verviers, Heusy, Polleur, Theux, Aywaille, Forêt, Chaudfontaine, Tilff,

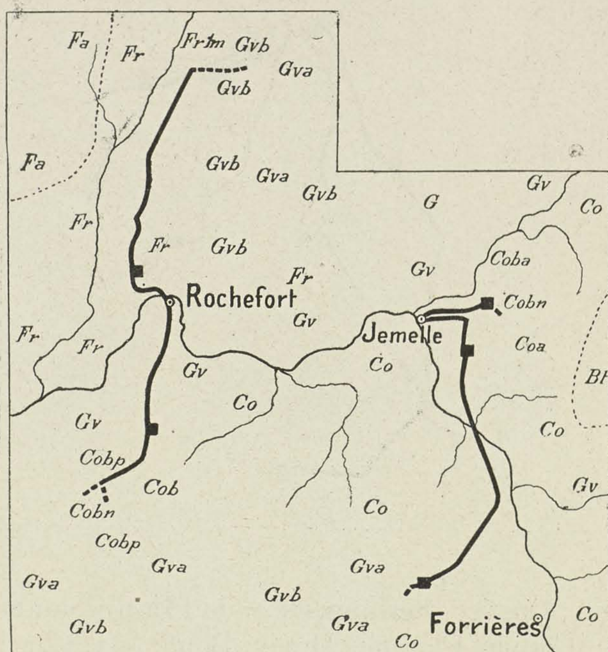


Angleur, Ougrée, Seraing, etc.), de l'Entre-Sambre-et-Meuse (Couvin, Floreffe, Mettet, Bouffioulx, Charleroi, Montignies-le-Tilleul, Thuin, etc.), du Hainaut (Binche, Dour, etc.) et du Brabant (Court-Saint-Étienne).

Un certain nombre de puits artésiens dans le nord de la Hesbaye, le Brabant, le nord du Hainaut et la Flandre atteignent avec succès le quartzoschisteux dévonien inférieur, silurien ou cambrien.

Eaux des terrains du système dévonien moyen et supérieur

a) Assises calcareuses : calcaires, dolomies, macignos. — Largement fissurées, ces roches recèlent de grandes quantités d'eau, soit à leur base, sur la roche quartzoschisteuse qui les supporte, soit au niveau du fond des vallées sillonnées par des cours d'eau. Les canaux

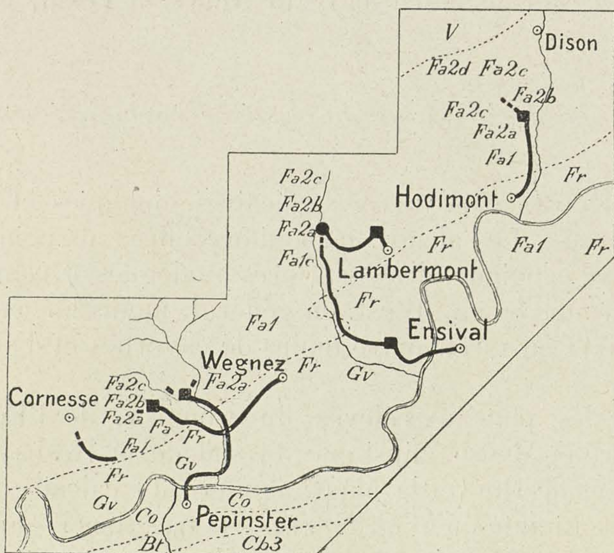


souterrains plus ou moins épanouis et les aiguigeois y sont particulièrement fréquents et importants, notamment dans la bande méridionale du bassin de Dinant.

Bon nombre de fontaines publiques et de distributions d'eau s'alimentent à des venues de ces calcaires dans la Famenne et la Fagne (à Aywaille, à Barvaux,

à Hotton, à Marche, à Waha, à Aye, à Jemelle, à Rochefort, à Beauraing, à Chimay, etc.), dans le Condroz et l'Entre-Sambre-et-Meuse (à Fosse, à Thy-le-Château, etc.).

b) Assises quartzoschisteuses : grès, poudingues, psammites, grauwackes et schistes. — Bien qu'elles n'aient pas une allure aussi tourmentée que celles des systèmes cambrien, silurien et dévonien inférieur, ces roches quartzoschisteuses sont, en général, plus fissurées et plus aquifères. La nappe est toute superficielle lorsque le sol est argileux avec substratum schisteux, comme dans la Famenne et la Fagne. Lorsque le sol



meuble est composé de sable, de sable argileux, de limon, de cailloutis ou de détritus reposant sur du schiste, du psammite ou du grès, la nappe aquifère s'abaisse jusqu'à la base de ces terrains meubles, soit parfois à une dizaine de mètres sous la surface du sol.

L'eau fournie par cette nappe ou par des fissures des terrains gréseux ou psammitiques sous-jacents est

utilisée dans une large mesure pour l'alimentation dans la Famenne, dans le sud et le centre du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse (à Aywaille, à Sprimont, à Comblain-au-Pont, à Esneux, à Hamoir, à Hotton, à Marche, à Waha, à Jemelle, à Rochefort, à Falaën, à Sosoye, à Biesmerée, à Mettet, à Gougnies, à Florennes, à Morialmé, à Walcourt, à Chastrès, à Thy-le-Château, à Barbençon, à Solre-Saint-Géry, à Beaumont, à Fontaine-Valmont, à Hantes-Wihéries, etc.), dans le Condroz nord (à Limbourg, à Theux, à Hodimont, à Lambermont, à Ensival, à Cornesse, à Wegnez, à Pepinster, à Olne, à Forêt, à Chaudfontaine, etc.), dans le sud de la Hesbaye (à Amay, à Vezin, etc.).

Eaux des terrains du système carboniférien

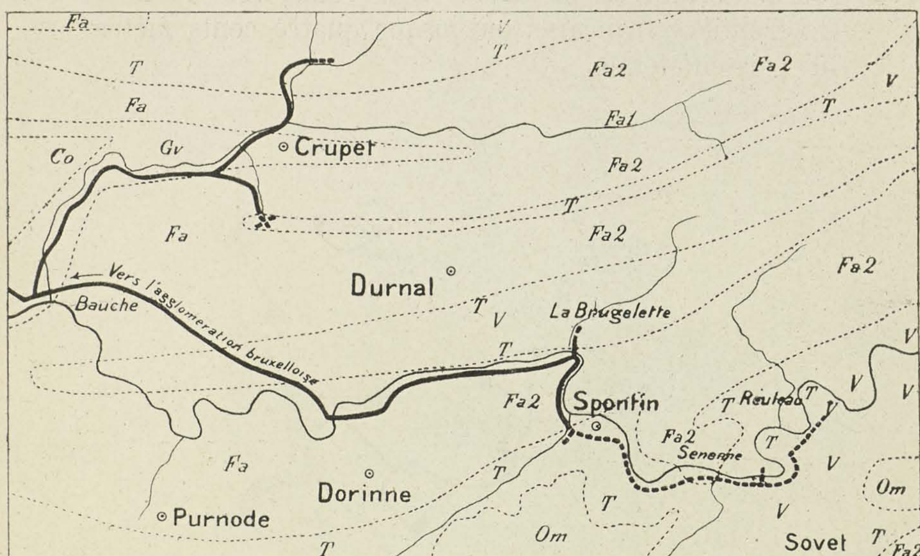
a) Étages calcareux : calcaires, dolomies et calschistes. — Le calcaire carbonifère offre, au point de vue hydrologique, des caractères analogues à ceux du calcaire dévonien. Il est, en général, moins largement fissuré et on y rencontre moins de cavernes et d'aiguigeois.

Sur les plateaux élevés du Condroz, de l'Entre-Sambre-et-Meuse, ainsi que du sud de la Hesbaye et du Pays de Herve, la nappe aquifère du calcaire n'est parfois atteinte qu'à 40, 50 et 60 mètres sous la surface du sol. Dans la plaine du nord du Hainaut, au contraire, cette nappe se rencontre à une profondeur relativement faible.

Des sources nombreuses et abondantes jaillissent au fond des vallées du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse, de même qu'au fond des carrières du Hainaut.

L'eau de bon nombre de sources ou de nappes plus ou moins profondes dudit calcaire est utilisée pour des dis-

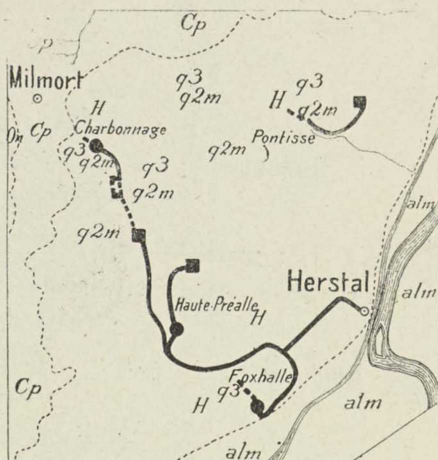
tributions dans le sud et le centre du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse (á Aywaille, á Esneux, á Comblain-au-Pont, á Ouffet, á Ocquier, á Miécret, á Clavier, Terwagne, Seny et Warzée, á Ciney, á Sovet, á Spontin, á Crupet, á Thynes et Lisogne, á Dinant, á Sorinne, á Dréhance, á Hastière, á Bouvignes, á Sommière et Haut-le-Wastia, á Oret, etc.), dans le sud du Pays de Herve (á Petit-Rechain), dans le nord du



Condroz (á Huy), dans le sud de la Hesbaye (á Seilles, á Marche-les-Dames, á Auvelais), dans le nord de l'Entre-Sambre-et-Meuse et dans le Hainaut (á Aiseau, Châtelet, Pont-de-Loup, Châtelineau, Pironchamps, Montignies-sur-Sambre, Gilly, Lodelinsart et Charleroi, á Fleurus, á Jumet, Roux et Marchienne-au-Pont, á Thieusies, á Calonne, á Vaulx, á Tournai) et jusque dans le Brabant (dans l'agglomération bruxelloise).

b) Étage quartzoschisteux (houiller) : schistes, psammites, grès, poudingues et houilles. — On peut assimiler ces terrains aux roches quartzoschisteuses des systèmes cambrien, silurien ou dévonien. Ils n'emmagasinent l'eau que dans leurs fissures et dans leurs parties superficielles délitées. Les grès sont toujours plus crevassés et plus perméables que les schistes.

Les roches houillères sont en beaucoup d'endroits recouvertes de dépôts de terrains secondaires, tertiaires ou quaternaires. Ces dépôts de terrains, vers Mons et la frontière française, ont jusque quatre cents mètres d'épaisseur totale.



Dans les parties où le terrain houiller est productif, les travaux souterrains drainent puissamment le sous-sol, asséchant souvent les puits et faisant tarir les sources. Heureusement, dans certaines contrées, l'étage houiller est séparé des terrains aquifères sus-jacents par une couche d'argile imperméable qui les protège contre l'action drainante.

Des galeries d'assèchement (arènes) d'anciennes houillères, percées au niveau du fond des vallées, conti-

nuent à donner de l'eau, qui est parfois utilisée pour les usages alimentaires.

Quelques communes possèdent des distributions d'eau du terrain houiller, notamment dans le Pays de Herve (Dison, Olne), dans le sud de la Hesbaye (Liége, Herstal, Amay), dans le nord de l'Entre-Sambre-et-Meuse et le Hainaut (Jamioulx, Farciennes).

Eaux des terrains des systèmes triasique, jurassique et crètacé

a) Système triasique, gréso-marneux : conglomérats, poudingues, grès, gompholithes, marnes et calcaires. — La nappe aquifère se rencontre à peu de profondeur dans les parties marneuses, qui prédominent; elle se trouve plus bas dans les grès et les poudingues.

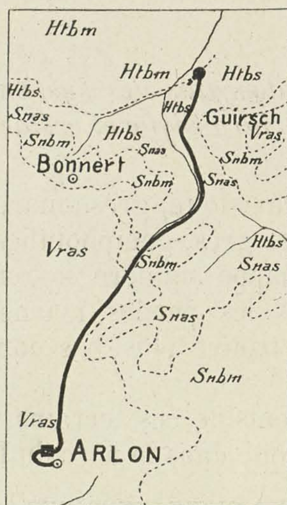
Les affleurements de ces terrains ne forment guère qu'une bande étroite dans le nord du Bas-Luxembourg.

b) Système jurassique inférieur *(lias)*. — a) *Assises gréso-marneuses des étages inférieurs :* grès, sables, argiles, marnes. — La nappe aquifère, située assez bas dans les collines gréseuses et perméables, se maintient à peu de profondeur dans la vallée argileuse et marneuse. Ces assises ne constituent qu'une zone assez peu importante au sud de la précédente.

b) *Assises sablo-calcareuses et marneuses des étages inférieurs et moyens :* sables et grès calcareux, calcaires sableux, marnes sableuses, marnes. — A la base et dans l'épaisseur même des puissantes assises de grès et calcaires sableux perméables, avec lits d'argile ou de marne intercalcaires, qui s'étendent à la partie nord de la zone, il existe des sources nombreuses et de fort débit, qui alimentent un bon nombre de distributions d'eau

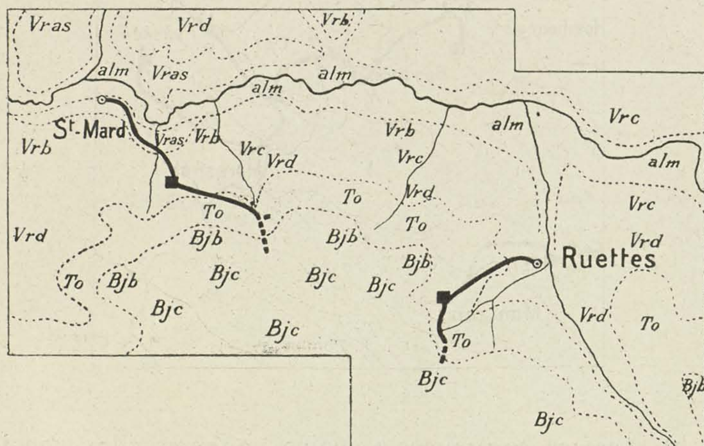
(notamment à Arlon, à Tintigny, à Jamoigne, à Izel, à Florenville, à Bellefontaine, à Ethe).

L'assise des grès et sables de la partie sud présente aussi plusieurs niveaux de sources dont quelques-unes sont utilisées pour des distributions (notamment à Heinsch et à Virton).



c) *Assises argileuses des étages moyen et supérieur du lias :* schistes, psammites, macignos, marnes. — Cette zone constitue à peu près toute la partie méridionale du bas Luxembourg. Les schistes imperméables du bord nord forment des vallées où la nappe aquifère se rencontre à peu de profondeur. Les psammites et les macignos sont de perméabilité variable, mais relativement secs ; la nappe aquifère s'y trouve à des profondeurs diverses ; des sources y apparaissent assez nombreuses, mais peu abondantes ; l'une d'elles alimente une distribution d'eau (à Messancy). Les schistes et les marnes, constituant au bord sud de la zone les flancs moyens des collines, sont imperméables et ne recèlent point d'eau.

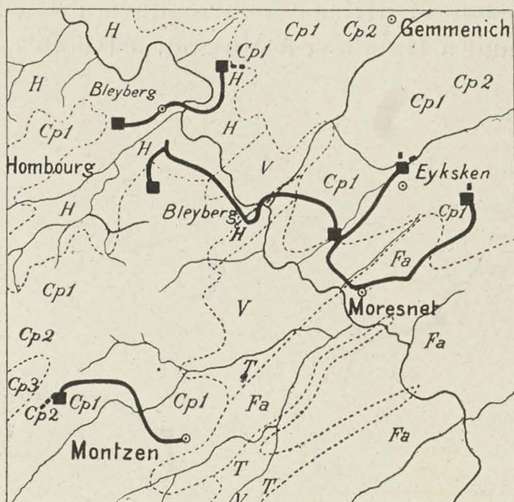
c) Système jurassique moyen, calcareux : limonite et calcaires. — La limonite est surmontée d'une couche d'argile ou de marne qui détermine un niveau de sources abondantes, à la base du calcaire très perméable et très fissuré qui forme la partie supérieure des collines du sud du bas Luxembourg. Les eaux de ces sources sont distribuées dans quelques communes (notamment à Halanzy, à Musson, à Ruettes, à Saint-Mard).



d) Système jurassique supérieur, sableux et argileux : argiles, sables, argiles sableuses. — Ces terrains n'affleurent que sur des espaces restreints, à la partie ouest de la vallée houillère.

e) Système crétacé. — a) *Assises sablo-argileuses et marneuses :* poudingues, gompholithes, graviers, grès, sables, marnes sableuses ou siliceuses, silex, argiles, grès argileux, argilites. — L'argile, qui affleure dans le Pays de Herve et le sud-est de la Hesbaye, est imperméable. Les sables sont aquifères; ils alimentent quelques distributions dans le Pays de Herve (à Hombourg-Bleyberg, à Moresnet et à Montzen). Les autres

terrains, qui se rencontrent dans le Hainaut, sont tantôt compacts et imperméables, tantôt plus ou moins poreux ou fendillés et aquifères; quelques puits artésiens s'y alimentent dans le nord-ouest du Hainaut et dans le sud-est de la Flandre.

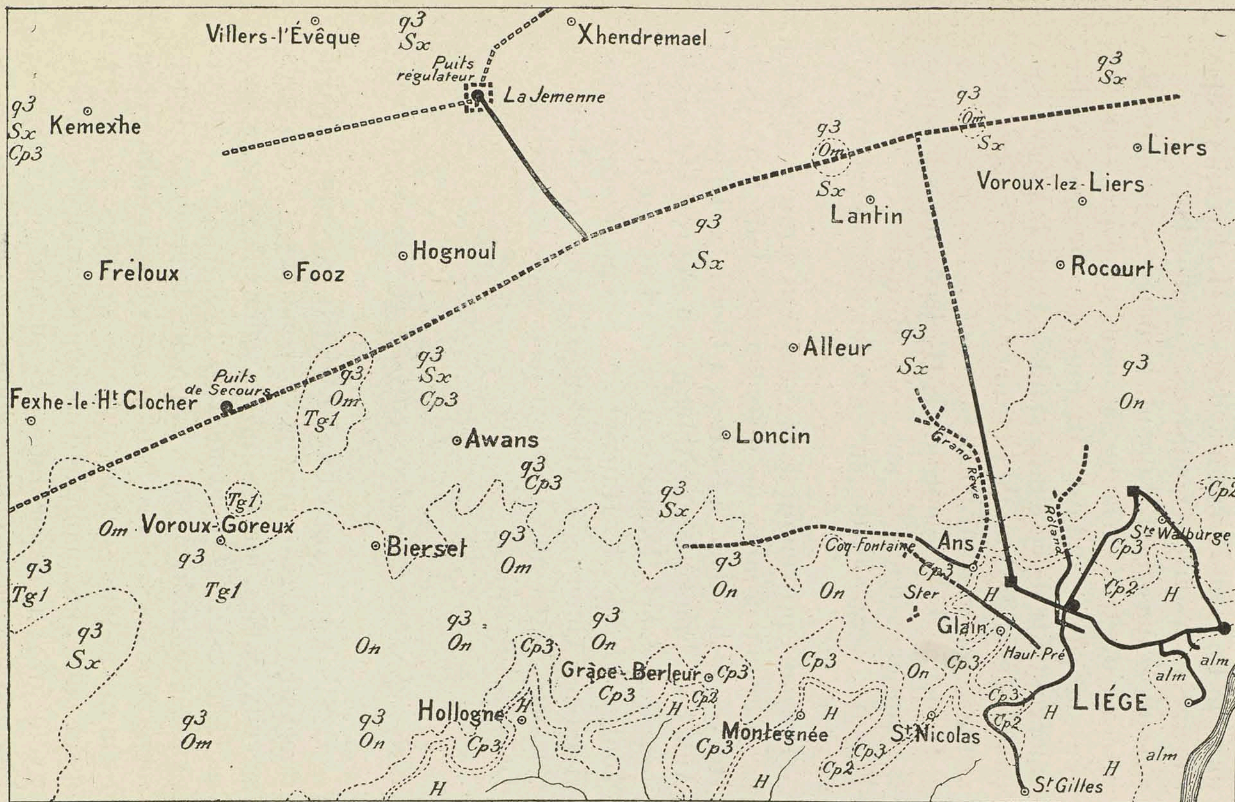


b) *Assises crayeuses :* craies, marnes, silex, craies phosphatées, poudingues, tufeaux. — La craie est, d'ordinaire, fortement fissurée et fendillée dans tous les sens; elle constitue, en général, une couche aquifère très importante; la nappe y est régulière, à courbure relativement aplatie.

Le plus souvent les assises crayeuses sont recouvertes de dépôts sableux ou sablo-argileux tertiaires ou quaternaires, qui constituent d'excellents filtres.

Les fissures de la craie sont généralement minces; il en est cependant qui sont plus larges et accessibles à de fortes venues d'eau.

Sous le plateau de la Hesbaye la nappe d'eau de la craie se rencontre à des profondeurs variant entre 20 et


Villers-l'Évêque
Xhendremael
Puits régulateur
La Jemenne
Kemexhe
Liers
Voroux-lez-Liers
Lantin
Hognoul
Fréloux
Fooz
Rocourt
Alleur
Puits de Secours
Fexhe-le-Ht Clocher
Awans
Loncin
Grand Rêve
Rolland
Voroux-Goreux
Bierset
Coq-Fontaine
Ans
Ste Walburge
Ster
Glain
Haut-Pré
Grâce-Berleur
Hollogne
Montegnée
St Nicolas
LIÉGE
St Gilles
q3
Sx
Cp3
Om
On
Tg1
Cp2
H
alm

30 mètres; sur les coteaux et au fond des vallées, tant dans le Pays de Herve que dans la Hesbaye, la nappe s'épanche en sources nombreuses et abondantes.

Dans le massif du Hainaut, la nappe se trouve à des profondeurs très variables, atteignant jusque 30 mètres vers la partie sud-est. Au fond de quelques vallées émergent des sources importantes. Dans la plaine, sous l'argile éocène, l'eau de la craie forme des nappes artésiennes où pénètrent bon nombre de puits.

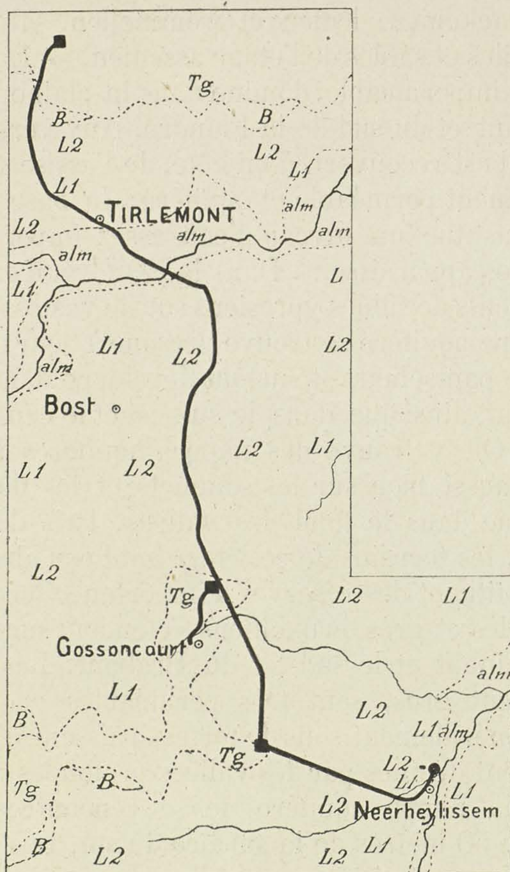
De même dans le nord de la Hesbaye, dans le sud de la Campine, dans le nord du Brabant et dans la Flandre, beaucoup de puits artésiens s'alimentent dans la craie.

Des eaux provenant de la craie sont utilisées pour un assez grand nombre de distributions dans le Pays de Herve (à Chaineux, à Battice, à Herve, à Thimister, à Aubel, à Fouron-Saint-Martin et à Fouron-le-Comte), dans le sud de la Hesbaye (à Ans, à Liége, à Russon, à Tongres), dans le Hainaut (à Strépy-Bracquegnies, Houdeng-Aimeries et Houdeng-Goegnies, à Mons, à Cuesmes, à Flénu, à Quiévrain), dans le Brabant (à Diest, à Vilvorde).

Eaux des terrains des systèmes paléocène et éocène

a) Systèmes paléocène et éocène inférieur (partie inférieure) argilo-sableux : poudingues, calcaires, tufeaux, sables, marnes, grès argileux des étages montien, heersien et landenien. — Des nappes aquifères existent notamment dans les sables heersiens et landeniens; mais ces sables étant assez peu perméables et ne formant le plus souvent que des couches d'épaisseur assez faible, les quantités d'eau emmagasinées sont relativement peu importantes. Beaucoup de puits s'alimentent aux nappes landeniennes sur toute la bande qui

s'étend de Looz à Templeuve à travers le nord de la Hesbaye, le Brabant, le centre et l'ouest du Hainaut; de nombreuses sources s'en échappent. Bon nombre de puits artésiens, dans tout le nord de la Belgique,



touchent avec succès aux nappes heersiennes et landeniennes.

Des distributions d'eau de ces terrains ont été établies dans la Hesbaye nord (à Léau, à Saint-Trond, à Orp-le-Grand, à Tirlemont) et dans le Brabant (à Vilvorde).

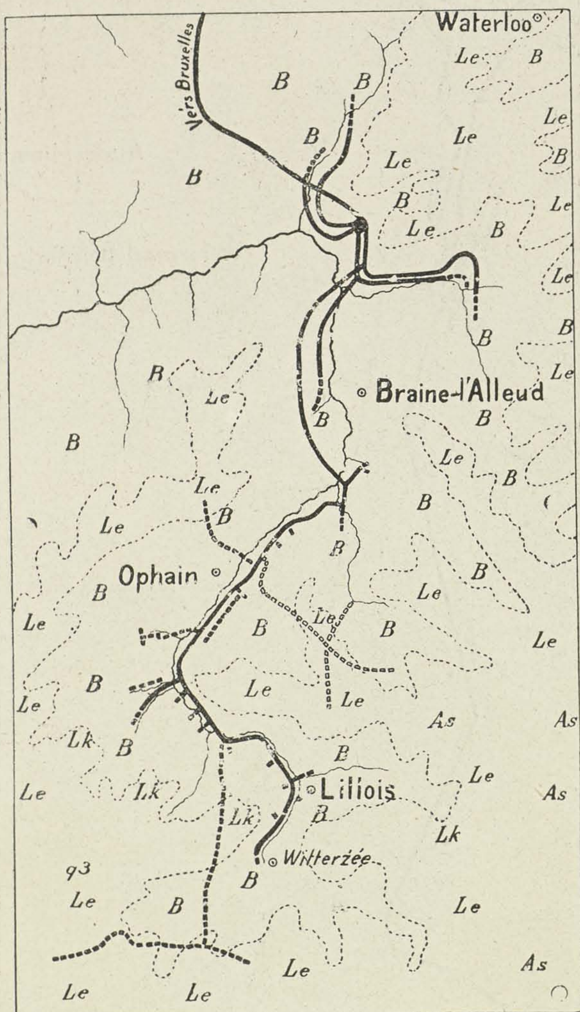
b) Système éocène inférieur (partie supérieure), moyen et supérieur, argilo-sableux, sableux, sablo-calcareux et sablo-argileux : argiles, argilites, sables argileux, sables et grès des étages ypresien et paniselien, sables et grès parfois calcareux des étages bruxellien, laekenien, ledien et wemmelien, sables argileux, argiles et sables de l'étage asschien. — L'ypresien argileux, imperméable, domine dans la plaine du nord du Hainaut et du sud de la Flandre. Aux versants des collines, il est recouvert, à mi-côte, de l'assise sableuse, moyennement perméable et aquifère; la base de cette assise constitue un niveau d'eau assez important, où des sources apparaissent. Dans la Flandre, il existe des affleurements de sables ypresiens sur de vastes étendues où la nappe aquifère se trouve presque à fleur de terre.

L'étage paniselien est surtout développé dans l'ouest du Brabant, ainsi que dans le sud-est et le centre de la Flandre. On y trouve des nappes aquifères à divers niveaux, aussi bien sur les sommets et les flancs des collines que dans le fond des vallées. Pris dans leur ensemble, les terrains de cet étage sont peu absorbants et ils constituent des réserves d'importance secondaire.

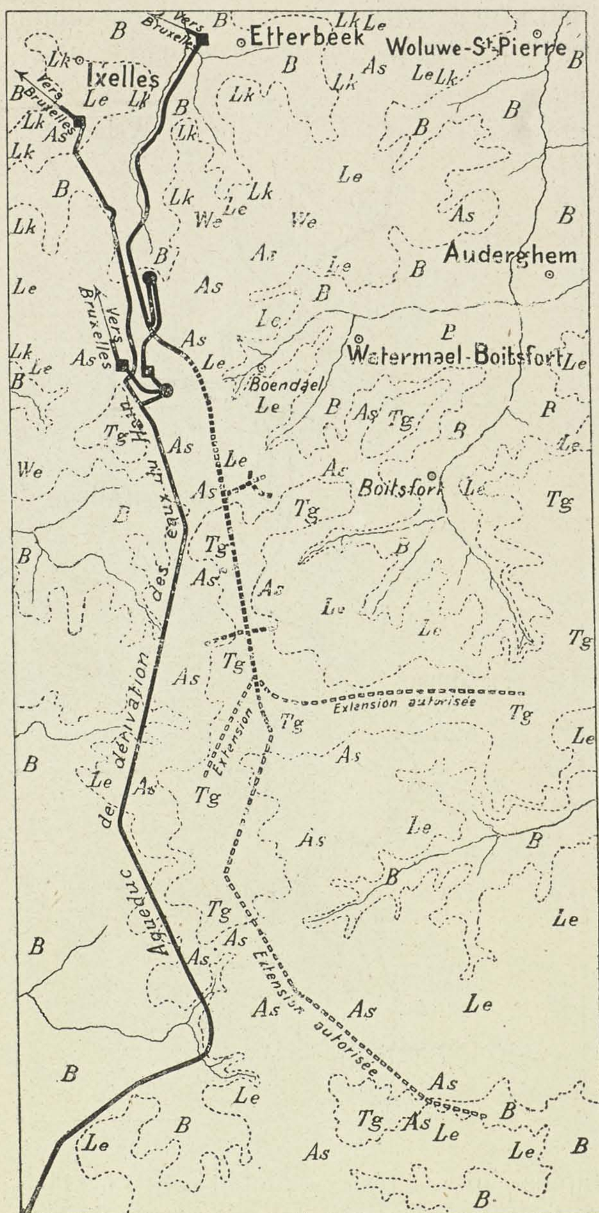
Les sables et grès bruxelliens s'étendent sur le nord-est du Hainaut et le sud-est du Brabant. Les sables, relativement gros, sont très perméables et se présentent généralement sous de fortes épaisseurs; mais ils sont souvent drainés par des vallées profondes : sur les collines, la nappe aquifère ne se rencontre parfois qu'à 40 ou 50 mètres de la surface du sol. Des sources abondantes et régulières émergent de ces sables.

Les sables laekeniens, lediens, wemmeliens et asschiens, à grains relativement fins, sont moins aquifères que les sables bruxelliens; l'argile et l'argile sableuse asschiennes sont imperméables. Ces terrains forment dans le nord du Brabant et le nord-est de la Flandre une zone dont la surface est généralement peu

accidentée et où la nappe liquide se trouve d'ordinaire à peu de profondeur, à 5 mètres au maximum, dans l'épaisseur des dépôts quaternaires sus-jacents.



Quelques puits artésiens fournissent de l'eau provenant de nappes ypresiennes, paniseliennes, bruxelliennes, lediennes ou asschiennes.


Etterbeek
Woluwe-St-Pierre
Ixelles
Vers Bruxelles
Auderghem
Watermael-Boitsfort
Boendael
Boitsfort
Aqueduc de dérivation des eaux du Hain
Extension autorisée
Extension
Extension autorisée

Les eaux des nappes ypresiennes, paniseliennes et bruxelliennes sont utilisées pour bon nombre de distributions, dans le sud-ouest du Brabant (à Rebecq-Rognon, à Anderlecht, à Laeken), dans le sud-est de la Flandre (à Renaix, à Audenarde, à Sottegem), dans le nord de la Flandre (à Gand), dans le centre du Hainaut (à Fontaine-l'Évêque, à Monceau-sur-Sambre et Marchienne-au-Pont, à Morlanwelz, à Seneffe), dans le sud-est du Brabant (à Nivelles, à Ittre, à Braine-le-Château, à Wauthier-Braine, à Lillois-Witterzée, à Braine-l'Alleud, à Waterloo, à Bruxelles, Uccle, Etterbeek et Molenbeek-Saint-Jean, à Maransart, à Couture-Saint-Germain, Ways, Céroux-Mousty, Lasne-Chapelle-Saint-Lambert et Ohain, à Genval, à Rixensart et Rosières, à La Hulpe, à Mont-Saint-Guibert, à Ottignies, à Wavre, à Louvain, à Perwez, à Jodoigne).

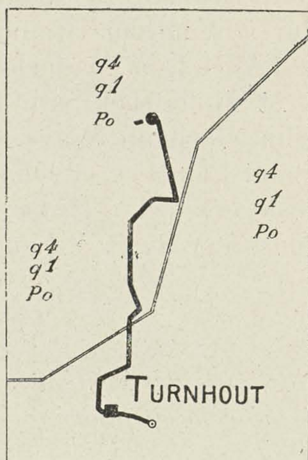
Eaux des terrains des systèmes oligocène, miocène et pliocène

a) Système oligocène, sablo-argileux : argiles, sables, sables argileux et marnes des étages tongrien et rupelien. — Le régime hydrologique de la zone formée par ces terrains dans le nord de la Hesbaye, le sud-ouest de la Campine, le nord-est du Brabant et le nord-est de la Flandre, est assez semblable à celui des contrées constituées par les terrains argilo-sableux des étages ypresien et paniselien. Bon nombre de sources, dans les parties accidentées, émergent des sables tongriens et rupeliens; beaucoup de puits domestiques s'alimentent dans ces mêmes sables.

b) Systèmes miocène et pliocène, sablonneux : sables, sables argileux, sables avec grès ou avec lits d'argile des étages bolderien, diestien, scaldisien et

poederlien. — Les sables diestiens du nord-est du Brabant recèlent une eau abondante; au sommet des collines, la nappe aquifère se trouve malheureusement à une profondeur très grande, jusque 50 mètres; dans les vallées jaillissent de nombreuses sources.

Dans la Campine et le nord-est de la Flandre, les terrains miocènes et pliocènes sont souvent recouverts de dépôts quaternaires d'une épaisseur considérable,



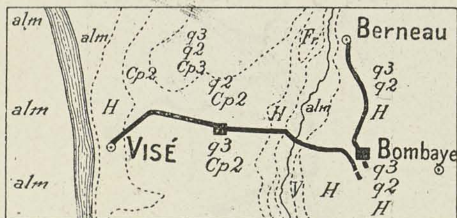
atteignant jusque 60 mètres. La nappe liquide s'y trouve généralement à peu de profondeur.

D'assez nombreux puits artésiens s'alimentent dans les sables miocènes et pliocènes, sous des couches quaternaires argileuses. Une ville de la Campine (Turnhout) possède une distribution d'eau provenant de semblables puits.

Eaux des terrains des systèmes diluvien et moderne

a) Système diluvien, sablo-argileux : limons, sables, argiles, cailloux, graviers, tourbes. — Le quaternaire diluvien, qui recouvre à peu près régulièrement

toute la Belgique au nord de la ligne Sambre-Meuse et qui acquiert une forte épaisseur dans la plaine basse du nord et sur les versants nord-est des collines, est aquifère dans son ensemble. Le sable du nord-est de la Campine, notamment, est très perméable et la nappe aquifère s'y rencontre à des profondeurs très faibles, le plus souvent à moins de 5 mètres. Le limon qui recouvre la Hesbaye, le Brabant, le Hainaut et le sud-est de la Flandre, est moyennement perméable et aquifère; la nappe d'eau s'y trouve à des profondeurs variant avec le relief du sol. Enfin les sables avec alternances limoneuses qui s'étendent principalement sur le nord-ouest et le nord de la Flandre, ainsi que sur le sud-ouest de la Campine, sont, dans leur ensemble, assez



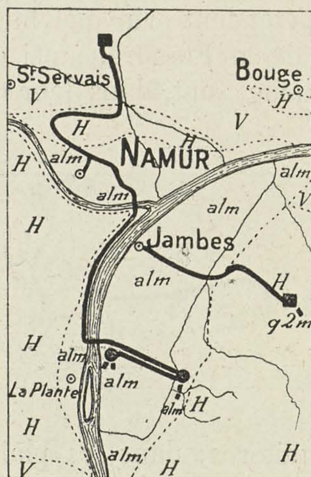
perméables et aquifères; dans les plaines basses qui caractérisent ces contrées, la nappe liquide se rencontre à des profondeurs très faibles, atteignant rarement 5 mètres.

La grande majorité des puits de la Campine et du nord du Brabant, de la Flandre et du Hainaut, ainsi que quelques puits artésiens, s'alimentent dans les terrains diluviens. Il y a même quelques distributions d'eau de ces terrains dans le Pays de Herve et le sud de la Hesbaye (à Berneau, à Visé, à Vivegnis, à Herstal).

b) Système moderne, sablo-argileux : alluvions des vallées et des pentes, sables, tourbes, sables argileux et

argiles de la plaine maritime. — Les alluvions sont généralement peu perméables. Toutefois celles de certaines grandes vallées, comprenant des lits de gravier, recèlent des quantités d'eau importantes.

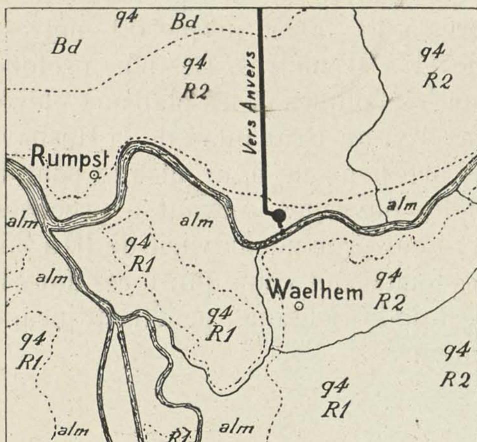
La bande argileuse des polders du littoral de la mer du nord et de l'Escaut maritime est imperméable et dépourvue d'eau. Les sables de la plaine maritime et surtout ceux des dunes du littoral renferment une notable quantité d'eau. La nappe se rencontre à très peu de profondeur.



Des eaux provenant soit des alluvions des vallées, soit des sables des dunes, alimentent quelques distributions (à Ougrée, à Flémalle-Grande, à Namur, Jambes et Saint-Servais, à Heyst-sur-Mer, à Wenduyne).

Aux couches aquifères des terrains quaternaires des systèmes diluvien et moderne se rattachent les *cours d'eau* et *étangs* formés principalement par des ruissellements sur ces terrains ou par des déversements

de nappes situées dans leur épaisseur, ainsi que les *canaux* en communication avec ces cours d'eau. Quelques distributions d'eau, même importantes, s'alimentent à des rivières, étangs ou canaux des régions quaternaires dans le sud-est de la Flandre (à Grammont), dans la Campine et le nord-ouest de la Flandre (à Hasselt, à Anvers, Berchem et Borgerhout, à Bruges, à Ypres, à Blankenberghe, à Ostende, à Middelkerke).



2. — Modes d'approvisionnement

Puits

Plus des deux tiers des maisons, en Belgique, sont alimentées par de l'eau de puits. On n'en consomme pour ainsi dire pas d'autre en Campine et en Flandre; elle constitue la ressource principale dans la Hesbaye, le Brabant, le Hainaut, ainsi que dans le nord de l'Entre-

Sambre-et-Meuse et du Condroz, dans le bas Luxembourg et dans les Dunes du littoral.

Les contrées peu accidentées et constituées par des terrains meubles et perméables, sont celles où le fonçage des puits donne les meilleurs résultats.

Les puits ordinaires ont des profondeurs variant de 2 ou 3 mètres à 40, 50 et jusque 60 mètres, soit une moyenne de 11 à 12 mètres. Les plus profonds se rencontrent sur les collines et les plateaux élevés, sablonneux ou crayeux, du Brabant et de la Hesbaye.

Les puits artésiens ne figurent que pour une faible part parmi les ouvrages servant à procurer de l'eau alimentaire. Leur profondeur varie de 10 à 350 mètres. Les plus profonds sont ceux qui, forés dans le nord et le nord-ouest de la Belgique, pénètrent jusque dans les terrains primaires.

Drains et sources

Près du quart du pays consomme de l'eau de drains ou de sources. Elle est plus commune que l'eau de puits dans le centre et le sud du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse, la Famenne et l'Ardenne, régions montagneuses et se prêtant peu au fonçage des puits; elle joue un rôle important dans le bas Luxembourg, le nord du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse, le Hainaut, le Brabant et la Hesbaye, régions accidentées; par contre, elle fait à peu près complètement défaut dans la Campine et la Flandre, et elle est totalement inconnue dans les Polders et les Dunes.

Beaucoup de venues d'eau auxquelles on donne le nom de sources, ne sont que des suintements superficiels ou bien des résurgences d'eaux courantes, engouffrées dans des aiguigeois en communication avec des cavités souterraines.

La plupart des drains sont de simples tranchées de 1, 2 ou 3 mètres de profondeur. Les galeries de drainage sont percées à des profondeurs variables, allant jusque 108 mètres sous la surface du sol.

Canaux et cours d'eau

Ils sont quelque peu utilisés dans l'Ardenne, les Dunes, la Flandre et la Campine; ils y alimentent même quelques distributions importantes, comme celles de Hasselt, Anvers, Ostende.

Étangs

Ils sont mis fort peu à contribution, à part les étangs artificiels qui alimentent les distributions de l'agglomération verviétoise et de la ville d'Ypres.

Citernes

Elles constituent la ressource principale des Polders et font concurrence aux puits dans les Dunes. Elles sont également utilisées d'une manière courante dans certaines parties de la Famenne, du Condroz et du sud de la Hesbaye, notamment sur les hauts plateaux calcareux.

Distributions d'eau et autres services publics d'eaux alimentaires

Le cinquième environ des communes de Belgique possèdent des distributions d'eau. Elles desservent à peu près la même proportion des maisons du royaume, mais elles alimentent une fraction plus notable de la popula-

tion, vu qu'elles sont établies principalement dans les communes urbaines ou industrielles, où le nombre d'habitants par maison est relativement élevé.

Les distributions d'eau se rencontrent surtout dans la partie rocheuse et accidentée de la Belgique. Les eaux utilisées à cet effet sont principalement des eaux de sources ou de drains.

Elles sont très rares dans la partie terreuse et basse du pays, en raison de la difficulté d'y trouver des volumes suffisants de bonne eau et de la facilité avec laquelle, par contre, on obtient généralement de l'eau de qualité quelconque à l'aide de puits de faible profondeur. C'est l'eau courante ou l'eau de canal qui alimente les distributions les plus importantes de la basse Belgique.

Plus de la moitié des communes de Belgique ont des services publics d'eau alimentaire autres que des distributions et consistant en puits, fontaines ou citernes. Mais ces services sont peu développés; pris dans leur ensemble, ils ne desservent guère que 15 p. c. environ du nombre total des maisons.

Les fontaines publiques sont fréquentes dans toute la partie montagneuse ou ondulée du pays. Les puits publics se rencontrent dans toutes les régions, mais principalement dans la Famenne, le Condroz, l'Entre-Sambre-et-Meuse et le Brabant, où souvent les puits sont d'exécution coûteuse à cause de la grande profondeur de la nappe aquifère ou de la dureté de la roche à traverser. On trouve quelques citernes publiques dans les Polders et aussi dans certaines parties des régions précitées.

Au total, plus des deux tiers des communes sont pourvues de services publics d'eau; l'eau de ces services est utilisée dans le tiers environ des maisons du royaume.

3. — Volumes disponibles

La quantité d'eau disponible paraît être suffisante dans près des deux tiers des communes. Les régions les plus favorisées sous ce rapport sont le bas Luxembourg, la Campine, la Flandre, le Brabant, la Hesbaye nord. C'est surtout dans les Polders et dans certaines parties des Dunes, de la Famenne, du Condroz, de la Hesbaye sud, du Hainaut et de l'Ardenne qu'il y a souvent pénurie d'eau.

La consommation d'eau dans les communes où le volume disponible est considéré comme suffisant, varie de 20 à 150 litres et plus par jour et par habitant, soit en moyenne 50 à 100 litres.

Les distances à parcourir pour se procurer de l'eau sont assez souvent de plusieurs centaines de mètres, jusque 2000 mètres et plus, dans les régions où l'eau est peu abondante.

La corrélation entre le degré d'abondance des eaux alimentaires et la nature des terrains, est facile à établir. Les roches schisteuses ne recèlent presque point d'eau. Les roches quartzoschisteuses (gréseuses, psammitiques, etc.) en contiennent de petites quantités dans leurs fissures et surtout dans leurs parties supérieures délitées. Les roches calcareuses et crayeuses emmagasinent dans leurs fissures des quantités d'eau importantes. Dans les terrains sableux ou sablo-argileux, l'eau est partout abondante ; il y a disette, au contraire, dans les terrains argileux.

Il existe de notables différences entre les volumes d'eau susceptibles d'être recueillis en Belgique par les divers modes de captage. Les citernes ne peuvent guère donner pour 10 mètres carrés de toiture, moyenne correspondant à peu près à un habitant, plus de 10 à 15 litres d'eau par jour. Les cours d'eau débitent par hectare compris dans leur bassin hydrographique, soit à

peu près pour deux habitants, un nombre de mètres cubes variant ordinairement de 5 à 10, d'après la nature des terrains et des cultures et d'après les conditions orographiques. Les nappes d'eau souterraines (sources, drains, puits) peuvent fournir, par hectare compris dans leur bassin alimentaire, des quantités variant en général de 3 à 6 mètres cubes. En ce qui concerne les drains et les puits, la connaissance imparfaite du degré de perméabilité des terrains à traverser rend souvent illusoires toutes prévisions relatives à leur rendement.

Les plus grands volumes d'eau distribués en Belgique sont :

A l'agglomération verviétoise, 32 000 mètres cubes par jour, pris à un ruisseau, la Gileppe, coulant sur les quartzschistes et accumulés dans un lac, à Jalhay, à une distance de 8 kilomètres ;

A un groupe important de communes de l'agglomération bruxelloise et des environs, 35 000 mètres cubes par jour, provenant principalement de sources des calcaires à Sovet-Spontin, à 80 kilomètres ;

A deux groupes de communes de l'arrondissement de Charleroi, respectivement 8500 et 1200 mètres cubes, fournis par des sources des calcaires, les unes à Aiseau, à 10 kilomètres, et les autres à Thiméon, à la même distance environ ;

A la ville de Liége, 18 000 mètres cubes, captés par des galeries de drainage dans la craie à Alleur, Awans, Voroux, etc., à des distances de 8 kilomètres environ ;

A un groupe de communes du Centre, 2160 mètres cubes, provenant de sources dans la craie à Strépy, à 5 kilomètres ;

A la ville de Mons, 4000 mètres cubes, provenant de sources dans la craie à Spiennes, à 4 kilomètres ;

A la ville de Gand, 3200 mètres cubes, captés par galeries de drainage dans les sables au sud de l'agglomération, jusqu'à une distance de 4 kilomètres environ ;

A la ville de Bruxelles et aux communes d'Uccle, de Molenbeek-Saint-Jean et Etterbeek, 25 000 à 30 000 mètres cubes provenant de sources et de galeries de drainage dans les sables à Lillois, Ophain et Braine-l'Alleud, à une distance de 25 kilomètres, et à Bruxelles (La Cambre), jusqu'à une distance de 7 kilomètres;

A la ville d'Anvers et aux communes de Berchem, Borgerhout, etc., 10 000 mètres cubes d'eau de rivière (la Nèthe) provenant de terrains sablo-argileux, prise à Waelhem, à une distance de 16 kilomètres et filtrée;

A la ville d'Ostende, 5000 mètres cubes d'eau du canal de Bruges, provenant de terrains sablo-argileux, prise à Ostende et filtrée.

4. — QUALITÉS, CAUSES DE CONTAMINATION

Un grand nombre d'échantillons d'eau provenant de plus de mille communes différentes, situées dans les diverses régions du pays, ont été soumis à l'analyse durant ces dernières années.

On a, sauf les cas exceptionnels, considéré comme défectueuses ou tout au moins comme très médiocres ou suspectes de contamination, d'après la convention généralement admise, les eaux ne satisfaisant pas aux conditions suivantes :

Limpidité parfaite, absence de couleur et d'odeur, saveur agréable, fraîcheur;

Absence d'hydrogène sulfuré, d'acide azoteux et de quantités notables d'ammoniaque;

Teneurs maxima (milligrammes par litre) :

En anhydride azotique	(15)	20-30	(100)
En chlore	(10)	20-50	(100)
En anhydride sulfurique	(30)	50-60	(100)
En matières organiques (réductrices)	(20)	30-50	(100)
En matières fixes à 100°-180° C. .	(300)	500-1000	(1 500)

Dureté maximum (degrés français) (16) 32-48 (64).

Teneur maximum en colonies bactériennes, 300-500 par c. c.

Les nombres inférieurs entre parenthèses sont des limites étroites, applicables seulement aux eaux de certaines catégories de terrains. Les nombres supérieurs entre parenthèses sont ceux proposés comme limites extrêmes pour certaines contrées de la basse Belgique, où l'on ne pourrait s'en tenir aux limites ordinaires sans répudier beaucoup d'eaux paraissant être à l'abri de toute contamination. Il est d'ailleurs entendu que, pour l'appréciation de la qualité d'une eau au point de vue hygiénique, on ne peut se baser exclusivement sur l'adoption de nombres-limites ou maxima plus ou moins généraux de teneurs en principes divers. Il y a lieu de comparer autant que possible les caractères de l'eau examinée à ceux d'eaux provenant des mêmes terrains, captées dans des conditions analogues et se trouvant manifestement à l'abri des souillures.

C'est dans la Campine, dans le nord et le sud-ouest de la Flandre, puis dans les Polders ainsi que dans le sud de la Hesbaye, le nord du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse et le Hainaut qu'ont été rencontrés le plus souvent des caractères défectueux, particulièrement des teneurs excessives en ammoniaque, en acide azoteux, en matières organiques, en chlore et en matières fixes.

Les régions où l'on a trouvé le moins souvent de mauvaises eaux, sont l'Ardenne et le bas Luxembourg.

Les puits ordinaires fournissent de plus fortes proportions d'eaux souillées que les sources, les drains et les puits artésiens. Les proportions d'eaux de puits reconnues mauvaises à l'analyse dans quelques-unes de nos principales villes, varient de 48 à 99 p. c.

La composition des eaux normalement élaborées à l'abri de toute cause spéciale de contamination, au sein des diverses formations géologiques, oscille entre des

limites assez larges. Cette variation peut assez facilement s'expliquer *à priori* : la nature des substances en dissolution est évidemment celle des principes solubles des terrains avec lesquels les eaux se sont trouvées en contact; les proportions de ces substances dépendent du degré de solubilité des dits principes, de l'état de division des terrains et de l'intimité de leur contact avec l'eau, de la durée de ce contact, de la pression et de la température régnantes.

Les terrains quartzoschisteux ou grésoschisteux ne peuvent guère, du chef de leur composition minéralogique, céder à l'eau que des traces de silicates, chlorures et sulfates alcalins et alcalino-terreux.

Si les terrains sont calcareux, dolomitiques, crayeux ou marneux, les eaux se chargent de quantités relativement grandes de bicarbonate de chaux et de magnésie, et aussi d'une proportion plus ou moins forte de sulfate calcique.

Au contact des terrains gypseux, les eaux deviennent riches en sulfate calcique.

Le contact des terrains maritimes et de ceux qui contiennent du sel gemme, comme certains étages du trias, communique aux eaux une forte teneur en chlorures.

Les eaux en contact avec des terrains pyriteux, comme les quartzschistes houillers, dissolvent du fer à l'état de sulfate, de bicarbonate, etc.

Les terrains compacts des groupes primaire et secondaire ne subissent le contact de l'eau que sur les parois de leurs fissures, tandis que les terrains meubles et perméables des groupes secondaire, tertiaire et quaternaire en sont totalement imprégnés.

La durée du séjour de l'eau au contact des terrains est en raison inverse des dimensions des interstices, fissures ou pores qui séparent les particules des terrains, ainsi que de l'altitude par rapport aux exutoires, cours d'eau, sources, drains ou sections de puits alimentés.

La pression sous laquelle l'eau se trouve dépend surtout de la profondeur sous le niveau de la nappe libre. Une forte pression favorise notamment la dissolution des bases minérales à l'état de bicarbonates.

On sait que la température du sous-sol augmente régulièrement avec la profondeur et que les accroissements de température entraînent ceux des coefficients de solubilité des composés minéraux en général.

La récapitulation des résultats d'analyse des eaux considérées comme pures est venue confirmer ces prévisions théoriques.

En général, la nature des terrains influe assez peu sur les teneurs en matières organiques et en anhydride azotique; mais elle retentit notablement sur les teneurs en sels alcalino-terreux (dureté), en anhydride sulfurique, en chlore et en matières fixes (résidu d'évaporation).

Les eaux des terrains quartzoschisteux ont une faible teneur en alcalino-terreux : leur dureté moyenne n'est que de 2 à 6 degrés en Ardenne, et de 8 à 14 degrés dans le Condroz, le sud de la Hesbaye et le Hainaut, où ces roches sont le plus souvent recouvertes d'autres terrains. Elles se distinguent également par de faibles teneurs en anhydride sulfurique (moyennes : 2 à 20 mgr. par litre), en chlore (moyennes : 5 à 20), en matières fixes (moyennes : 30 à 245); de même leur teneur en anhydride azotique est relativement faible (moyennes : 1 à 15).

Les eaux des terrains calcareux et celles des terrains crayeux ou marneux ont des teneurs relativement fortes en sels alcalino-terreux (moyennes : 20 à 30 degrés hydrotimétriques) et en matières fixes (moyennes : 300 à 525 mgr. par litre) : ces proportions sont plus que doubles de celles des mêmes éléments dans les eaux du quartzoschisteux. Les teneurs en anhydride sulfurique (moyennes : 15 à 25), en chlore (moyennes : 15 à 25) et

en anhydride azotique (moyennes : 12 à 20) sont également supérieures aux teneurs correspondantes des eaux du quartzoschisteux, sans toutefois dépasser ni souvent même atteindre le double.

Les eaux des terrains sablo-argileux ont des teneurs moyennes en matières dissoutes diverses, variant dans des limites très larges. Tantôt ces teneurs sont à peine supérieures à celles des eaux du quartzoschisteux, notamment pour ce qui est des sels alcalino-terreux (10 à 14 degrés de dureté moyenne inférieure) et des matières fixes (moyennes inférieures : 175 à 260 mgr. par litre); tantôt elles dépassent même notablement celles des eaux des terrains calcareux ou crayeux, particulièrement en ce qui concerne l'anhydride sulfurique (moyenne supérieure : 50), le chlore (moyennes supérieures : 50 et 100), l'anhydride azotique (moyenne supérieure : 50), les matières fixes (moyennes supérieures : 750 à 825) et les sels alcalino-terreux (27 à 35 degrés de dureté moyenne supérieure).

A partir de quelques kilomètres de la mer, les eaux des puits qui pénètrent jusqu'au-dessous du niveau de la marée basse sont fortement chlorurées : elles renferment souvent plus de 200 milligr. de chlore par litre (parfois jusque 800 et 1000). Il en est de même de celles des cours d'eau et des canaux où se fait sentir l'influence de la marée.

Les observations qui précèdent visent particulièrement les eaux de puits ordinaires, de drains, de sources et de rivières. Elles sont applicables, dans une certaine mesure, aux eaux de puits artésiens; mais les différences entre les teneurs en principes divers, d'après la nature des terrains, sont généralement moins accentuées pour ces eaux; en raison de leur contact plus prolongé avec les couches du sous-sol, à une température et sous une pression relativement élevées, les quantités

de matières dissoutes se rapprochent le plus souvent des maxima supérieurs admissibles ou bien dépassent ces maxima.

En ce qui concerne l'influence de la durée du contact de l'eau avec les terrains, les analyses ont mis en lumière, une fois de plus, les faits suivants.

Ce sont les eaux de ruisseaux, rivières, canaux et étangs qui présentent les plus faibles teneurs en matières fixes (moyennes, d'après la nature des terrains, 30 à 250 mgr. par litre), en sels alcalino-terreux (moyennes : 2 à 12 degrés), en anhydride sulfurique (moyennes : 2 à 8 — 50 — mgr. par litre), en chlore (moyennes : 5 à 18 — 100), en anhydride azotique (moyennes : 1 à 10).

Les sources et les drains offrent des moyennes déjà notablement plus élevées, parfois doubles ou triples des précédentes, en matières fixes (100 à 750 mgr. par litre), en sels alcalino-terreux (4 à 27 degrés), en anhydride sulfurique (7 à 50 mgr. par litre), en chlore (15 à 37), en anhydride azotique (10 à 30).

Les puits ordinaires présentent, en général, des moyennes plus fortes encore que celles des sources et drains : en matières fixes (180 à 825 mgr. par litre), en sels alcalino-terreux (6 à 35 degrés), en anhydride sulfurique (8 à 50 mgr. par litre), en chlore (18 à 50 — 100), en anhydride azotique (10 à 50).

Mais c'est surtout dans la composition des eaux de puits artésiens que se révèle cette influence de la durée du contact, en même temps que celles de la température et de la pression. Ces eaux sont d'ordinaire d'autant plus chargées de substances salines qu'elles proviennent de nappes plus profondes. Certaines d'entre elles contiennent des proportions extrêmement fortes de ces substances, particulièrement de sels alcalins, élevant au delà des limites admissibles pour les eaux alimentaires les teneurs en matières fixes totales (plus

de 1500 mgr. par litre), en chlore (plus de 250 mgr.), en anhydride sulfurique (plus de 100). Les teneurs en alcalino-terreux (dureté) dépassent rarement celles des eaux de puits ordinaires, de drains ou de sources.

Le tableau suivant indique pour l'ensemble du pays, d'après les résultats des analyses, les limites entre lesquelles varient les teneurs normales et tolérables des eaux des diverses origines, en les principes les plus intéressants au point de vue de l'hygiène :

ORIGINE DES EAUX	TENEURS NORMALES OU TOLÉRABLES OBSERVÉES (MINIMA ET MAXIMA)					
	En résidu d'évaporation : mgr. par litre	En sels alcalino-terreux : degrés de dureté	En anhydride sulfurique : mgr. par litre	En chlore : mgr. par litre	En anhydride azotique : mgr. par litre	En matières organiques : mgr. par litre
Terrains quartzoschisteux ou grésoschisteux.						
Cours d'eau, étangs. . . .	10-50 à 50-200	1 à 5-15	0 à 5-15	0 à 10-15	0 à 1-8	0 à 30-35
Sources et drains	12-75 à 200-400	1-4 à 8-24	0 à 15-30	0 à 30	0 à 20-30	0 à 30-40
Puits	15-90 à 350-500	1-5 à 12-24	0 à 15-30	0 à 35-40	0 à 20-30	0 à 40-50
Puits artésiens	200 à 1000 et plus	1 à 35	1 à 30	2 à 250 et plus	0 à 8	0 à 50
Terrains calcareux ou crayeux.						
Sources et drains	100-200 à 500-600	10-15 à 32-36	0 à 30-40	0-1 à 30-35	0 à 25-35	0 à 35-50
Puits	100-250 à 500-800	10-15 à 32-45	0 à 30-50	0-5 à 35-50	0 à 35-40	0 à 35-50
Puits artésiens	250-400 à 1000 et plus	5-15 à 35-50	0 à 30-100	0-2 à 100	0 à 35-40	0 à 50
Terrains sablo-argileux.						
Cours d'eau, canaux, étangs.	50-100 à 300-400	2-5 à 20	0-1 à 15-100	2-3 à 35-200 et plus	0 à 8-20	0-5 à 60-100
Sources et drains	20-150 à 500-1000	2-5 à 20-50	0 à 30-100	0-1 à 35-75	0 à 35-60	0 à 35-75
Puits	20-150 à 500-1500	2-5 à 26-64	0 à 40-100	0-5 à 60-200 et plus	0 à 50-100	0 à 60-100
Puits artésiens	50-200 à 1000-1500 et plus	2-16 à 45-64	0 à 60-100 et plus	0-5 à 60-200 et plus	0 à 35-60	0 à 35-60

Il n'y a lieu de tolérer que des traces très faibles d'anhydride azoteux et des traces faibles d'ammoniaque, excepté dans les eaux de puits artésiens où l'on peut admettre des traces même notables d'ammoniaque.

Le nombre normal ou tolérable de bactéries par c.c. est de 0 à 200-500.

Les variations signalées au tableau pour les teneurs minima et maxima des eaux d'origines analogues, se constatent d'une région à l'autre de la Belgique et correspondent à de légères différences dans la nature des terrains.

Les fluctuations de la composition des eaux en ce qui concerne les principes minéraux et les substances organiques d'origine végétale, sous l'influence de causes naturelles ou internes, ne sont pas sans offrir de l'intérêt au point de vue des usages domestiques ou industriels; la connaissance de ces variations est, comme on vient de le voir, nécessaire pour la distinction des eaux pures d'avec les eaux souillées; mais elles sont souvent, par elles-mêmes, assez indifférentes au point de vue de l'hygiène. Malheureusement il existe, d'autre part, des causes accidentelles, extérieures et locales, d'altération et de contamination plus graves au point de vue de la santé.

Les toitures, les tuyaux adducteurs et les réservoirs en fer, en zinc et en plomb abandonnent à l'eau une partie de ces métaux à l'état de sels divers : bicarbonates, sulfates, crénates, etc.; certains de ces sels, notamment ceux de plomb, sont vénéneux. L'attaque du plomb, généralement employé pour les canalisations intérieures et les tuyaux de pompes, est favorisée par la présence dans l'eau d'acide carbonique et d'oxygène libre et par l'absence de bicarbonates alcalins ou alcalino-terreux pouvant donner lieu à la formation d'une couche protectrice d'hydrocarbonate de plomb. Cette couche plombifère, lorsqu'elle s'est formée, se détache

d'ailleurs assez facilement et elle reste alors en suspension dans l'eau.

Les engrais naturels ou artificiels répandus sur le sol cèdent aux eaux des phosphates, des nitrates, des chlorures, des crénates, etc., de chaux, de magnésie, de fer, d'alumine, etc., et, ce qui est plus fâcheux, des matières organiques diverses, notamment des matières d'origine animale.

Des souillures sont très souvent communiquées à l'eau, non seulement par les engrais nécessaires à la prospérité de la culture, mais aussi et surtout par des déchets abandonnés de la vie animale ou du travail industriel. Trop fréquemment ces matières gisent à des distances insuffisantes des puits, des drains, des fontaines, des cours d'eau ; parfois elles imprègnent totalement le sol environnant.

Ces substances pénètrent dans la nappe aquifère par déversement ou par infiltration, notamment lors des pluies abondantes ou lors de la fonte des neiges, sans avoir subi une transformation suffisante par filtration naturelle à travers les couches du terrain, surtout lorsque la nappe aquifère est peu profonde et lorsque le sol est peu poreux.

Le plus souvent, en Belgique, les puits ordinaires captent l'eau à une profondeur trop faible pour que la filtration soit suffisante.

Dans les terrains meubles, sablonneux ou sablo-argileux, la souillure par le ruissellement est presque nulle ; l'eau filtre presque au fur et à mesure de sa chute et, si la couche filtrante a une certaîne épaisseur, elle s'épure complètement avant d'atteindre la nappe.

Dans les terrains rocheux, au contraire, l'eau est souvent retenue assez longtemps à la surface ou dans la couche supérieure du sol avant de rencontrer des parties filtrantes dans les interstices, joints ou diaclases, qui séparent les blocs de roche.

Les terrains quartzoschisteux ne présentent qu'assez peu de ces fissures remplies de matières filtrantes. Aussi n'y rencontre-t-on le plus souvent que des eaux provenant de ruissellements ou de suintements superficiels, et ces eaux sont-elles, en général, assez fortement chargées de matières organiques et de microbes, à moins que la région ne soit boisée, peu cultivée et peu habitée, comme certaines parties de l'Ardenne.

On a vu que les interstices sont plus nombreux et plus importants dans les roches calcareuses. Ordinairement ils sont remplis de matières terreuses, graveleuses ou blocailleuses, à travers lesquelles les eaux filtrent en circulant; mais il arrive aussi que les aiguigeois, les canaux souterrains et même les crevasses ordinaires soient à peu près vides ou contiennent peu de matières filtrantes. Dans ce cas, si l'eau est souillée au contact du sol ou si elle n'est pas suffisamment filtrée à travers la couche terreuse superficielle, elle ne subit en circulant dans ces cavités souterraines qu'une épuration incomplète. Il importe donc de s'assurer, surtout en cas de venues d'eau abondantes, que ces venues ne se trouvent pas en communication plus ou moins directe avec des ruissellements ou des cours d'eau superficiels.

A la présence de matières impures au voisinage immédiat et à l'insuffisance de la filtration naturelle, vient se joindre souvent le manque de protection spéciale et efficace contre l'invasion des dites matières.

Les puits ordinaires, en particulier, ont assez rarement la partie supérieure de leurs parois rendue imperméable. Parfois la maçonnerie, faite en pierres sèches ou bien fissurée ou crevassée, laisse passer non seulement des liquides impurs mais même des animaux qui vivent sous terre et qui, venant à tomber dans les puits, y meurent et corrompent l'eau. Certains puits peu profonds sont de simples fosses avec parois garnies

d'un gazonnement. Souvent les puits ne sont pas fermés ni convenablement couverts. Parfois ils ne sont même pas munis de margelles suffisamment élevées au-dessus du sol : ils sont mal protégés par un simple revêtement en planches. Il y tombe des feuilles mortes, des cadavres d'insectes ou d'animaux et mille autres objets capables de souiller l'eau. Le curage des puits est généralement négligé. Le puisage se fait le plus souvent au moyen de seaux de propreté douteuse; les puits munis de pompes sont en minorité. Relativement rares sont les puits formés d'une tuyauterie en fer, en grès ou en béton, qui pénètre jusque dans la couche aquifère; assez fréquents, au contraire, sont dans la partie basse du pays les tuyaux et pompes en bois.

Les drains et les captages de sources sont, surtout pour les fontaines ordinaires, souvent établis à une distance trop faible de la surface du sol exposée aux souillures, ou bien ils ne sont pas rendus étanches jusqu'à une distance suffisante de la surface. Les sources émergeant au bas des versants ne sont pas toujours suffisamment protégées contre l'affluence des eaux pluviales et des autres liquides impurs. Les ouvrages de captage, à part ceux qui ont été réalisés dans ces derniers temps pour l'établissement de distributions d'eau, sont assez rarement entourés de zones de protection fermées au public. Parfois les conduites manquent d'étanchéité. Les fontaines sont souvent des ouvrages en maçonnerie défectueuse, insuffisante à empêcher les infiltrations de liquides impurs de la surface ou d'eaux provenant d'abreuvoirs ou de bacs-lavoirs installés à proximité.

Les eaux courantes ou les eaux d'étangs ou réservoirs découverts, en général, ne sont aucunement protégées contre les souillures extérieures. Les cours d'eau reçoivent les eaux de ruissellement, ainsi que les liquides des fossés et des égouts; on y lave le linge; le bétail

s'y abreuve. Il faut remarquer toutefois que les eaux polluées s'améliorent et parfois même redeviennent pures par un parcours mouvementé à ciel ouvert sous l'influence de la lumière et de l'oxygène de l'air; que, d'autre part, les eaux des rivières des contrées peu habitées et peu cultivées sont moins exposées à la contamination.

Les eaux de citerne se chargent fatalement, sur les toits et les gouttières, de poussières et de fiente d'oiseaux; presque nulle part on ne voit fonctionner des dispositifs destinés à écarter les premières eaux de pluie, particulièrement malpropres; les citernes avec adjonction de filtres constituent de rares exceptions.

Les causes de contamination qui viennent d'être énumérées se présentent rarement pour les distributions d'eau, les fontaines et les puits publics établis avec le concours de l'administration supérieure et de l'administration provinciale. Celles-ci, en effet, subordonnent l'allocation de subsides à la condition que l'eau offre, au point de vue hydrogéologique, des garanties de pureté suffisante; qu'elle présente à l'analyse des caractères chimiques et bactériologiques satisfaisants; que les ouvrages de captation soient entourés d'une zone de protection clôturée; qu'ils soient, de même que les ouvrages d'adduction, établis de façon à mettre l'eau recueillie à l'abri des infiltrations superficielles.

Il faut noter aussi que certaines administrations communales ont soin de mettre sur les fontaines, bornes-fontaines et puits publics ne donnant qu'une eau de mauvaise qualité, une inscription telle que : eau impropre aux usages alimentaires, non potable, potable seulement après ébullition.

Enfin dans quelques communes on s'attache à améliorer l'eau par l'emploi de bassins de dépôt ou de décantation, ainsi que de filtres artificiels en sable,

gravier ou autres matériaux, parfois précédé d'une aération ou d'une épuration par des procédés chimiques basés sur l'action de la chaux, de l'alumine, de l'oxyde de fer, du fer métallique, du chlorure ferrique, du chlorure de chaux, de l'ozone, etc. Des traitements de l'espèce sont appliqués notamment aux eaux de Verviers, Stembert, Herstal, Seraing, Namur, Turnhout, Anvers, Ypres, Blankenberghe, Ostende, Middelkerke.

La proportion des communes de Belgique où la plupart des eaux laissent à désirer sous le rapport de la pureté, est de 50 p. c. au moins. Elle dépasse cette moyenne, surtout pour les eaux de puits, dans la Campine, le nord et le sud-ouest de la Flandre, dans les Polders, dans le Pays de Herve, le nord du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse, le sud de la Hesbaye et le Hainaut.

5. — Mesures projetées

Pour parer à l'insuffisance ou à la mauvaise qualité de l'eau alimentaire, un certain nombre de communes, dans les diverses régions du pays, projettent d'établir des distributions ou de développer des distributions existantes, ou bien de créer des puits publics, des fontaines publiques ou même des citernes publiques.

La proportion des communes du pays où la situation laisse fortement à désirer sous l'un ou l'autre rapport est de plus de la moitié. Cette proportion est moins forte pour le bas Luxembourg, ainsi que pour le nord de la Hesbaye, le Brabant et le sud-est de la Flandre; mais elle dépasse la moyenne pour le sud-ouest et le nord de la Flandre, la Campine, le sud de la Hesbaye, le Hainaut, le Condroz et l'Entre-Sambre-et-Meuse, la Famenne, l'Ardenne, et surtout pour les Polders et les Dunes.

L'Ardenne, totalement constituée par des terrains quartzoschisteux ou grésoschisteux, ne possède pas de couches aquifères régulières ni abondantes. Beaucoup d'eaux, insuffisamment filtrées, sont de qualité défectueuse.

Les projets de distribution d'eau pour cette région tendent presque exclusivement à l'utilisation d'eaux de drains à peu de profondeur ou d'eaux courantes, à l'instar de ce qui a été fait déjà dans beaucoup de communes. Malheureusement les drains, de même que les fontaines et les puits, dans les détritus des terrains cambrien et dévonien inférieur, n'ont aux époques de sécheresse qu'un très faible débit; les ruisseaux, les rivières même, sont fréquemment à sec en été. D'autre part, ces eaux de drains superficiels et de rivières laissent souvent à désirer sous le rapport de la pureté.

Pour obtenir en Ardenne des approvisionnements plus réguliers et plus abondants d'eau de bonne qualité, on pourrait, ou bien créer des lacs en construisant des barrages sur les cours d'eau aux endroits propices, comme on l'a fait sur la Gileppe et comme on a proposé autrefois de le faire au confluent des deux Ourthes, ou bien percer à une profondeur plus ou moins grande des galeries d'infiltration, suivant l'exemple donné dans les parties des autres régions du pays constituées par les mêmes terrains. Mais ces galeries sont d'exécution assez coûteuse et de rendement relativement faible.

Peut-être les drains que l'on a commencé à pratiquer pour l'assèchement des fagnes, procureront-ils un appoint pour l'approvisionnement en eau alimentaire.

Dans la Famenne et dans les parties méridionale et centrale du Condroz et de l'Entre-Sambre-et-Meuse, les zones élevées grésoschisteuses recèlent généralement de l'eau à faible profondeur ; c'est même pour cette raison que beaucoup de villages sont bâtis sur ces hauteurs; mais les réserves d'eau de ces terrains sont peu

abondantes. Il existe, au fond des vallées calcareuses qui alternent avec les rides grésoschisteuses, des venues d'eau importantes alimentant déjà bon nombre de fontaines publiques et de distributions; mais l'utilisation en est retardée par la nécessité où l'on se trouve souvent d'aller prendre ces eaux à des distances relativement grandes ou de recourir à des machines élévatrices. Sur les plateaux calcareux et même dans certaines vallées sèches, l'eau ne se rencontre qu'à de très grandes profondeurs.

C'est principalement de ces sources des calcaires dévonien ou carboniférien que l'on compte tirer parti dans cette région pour les distributions projetées, en raison de l'importance de leur débit et nonobstant la nécessité d'une attention spéciale afin d'éviter les inconvénients de l'existence éventuelle de communications trop directes avec la surface.

Un certain nombre de projets sont basés sur l'utilisation d'eaux de sources des psammites et macignos famenniens. Ces sources, sans être aussi abondantes que celles du calcaire, ont généralement un débit plus fort et plus régulier que celles des terrains quartzoschisteux de l'Ardenne; elles sont, d'ordinaire, convenablement filtrées.

A côté et au-dessus des terrains quartzoschisteux et calcareux, identiques ou analogues à ceux de l'Ardenne, de la Famenne et du Condroz sud et centre, on trouve dans certaines parties du Pays de Herve, du Condroz nord, de la Hesbaye sud et du Hainaut, outre les puissantes assises du terrain houiller, d'importants dépôts de terrains crétacés, paléocènes, éocènes, oligocènes, diluviens et modernes, la plupart aquifères. Mais, en beaucoup d'endroits, les eaux de ces terrains sont drainées par les travaux miniers; ailleurs elles se maintiennent à de grandes profondeurs; assez souvent elles sont contaminées par les liquides résiduaires des établis-

sements industriels, les eaux ménagères, etc. Comme, d'autre part, beaucoup de localités sont très populeuses, on a besoin de fortes quantités d'eau, qu'on ne peut bien souvent se procurer qu'à des distances assez grandes.

Dans cette région, les projets de distributions nouvelles, de même que les distributions existantes, comportent l'utilisation d'eaux de sources, de drains ou de puits de l'un ou l'autre terme de la série variée de terrains composant le sol et le sous-sol, principalement des grès et des calcaires dévoniens ou carbonifériens, des terrains crétacés, des sables éocènes et des alluvions modernes. Toutes ces eaux sont généralement pures et abondantes, surtout celles qui sont captées dans des terrains formés ou surmontés de couches assez épaisses de sables ou de sables argileux, à des distances suffisantes des agglomérations, des établissements industriels et des chantiers d'exploitation minière.

La Hesbaye nord, le Brabant et la Flandre sud-est, avec le nord du Hainaut, constitués à peu près régulièrement, jusqu'à une certaine profondeur sous le sol, par des terrains meubles en grande partie perméables, sont beaucoup plus riches en bonne eau alimentaire que les contrées des régions précédentes, où les terrains compacts se rencontrent le plus souvent à peu de profondeur. Toutefois l'eau est encore assez rare dans quelques parties du Brabant et du nord du Hainaut, où le manteau de terrain meuble offre peu d'épaisseur ou de perméabilité, et elle est peu accessible à la généralité des particuliers sous les collines sablonneuses du Brabant. C'est pour ce motif que l'on a dû établir dans bon nombre de communes, même de faible importance, des distributions d'eau amenée de distances plus ou moins grandes. Pour procurer à l'agglomération bruxelloise l'important surcroît d'approvisionnement dont elle avait besoin, on a pris le parti de recourir

principalement aux ressources aquifères du Condroz central.

Ce sont les eaux des sables du système éocène inférieur et moyen, captées aux sources ou recueillies par des galeries de drainage ou des puits, qui alimentent la presque totalité des distributions établies et qui doivent alimenter encore les distributions projetées dans cette région. Ces eaux sont de bonne qualité ; celles des sables landeniens et bruxelliens sont abondantes. Le nombre de projets de distribution est, du reste, assez restreint; par contre, il y a beaucoup de projets d'établissement de fontaines et de puits publics.

Dans la Campine, ainsi que dans la Flandre nord et nord-ouest, où les terrains sont meubles et les vallées peu accentuées, l'eau se rencontre à une très faible profondeur; elle y est généralement assez abondante, la couche superficielle plus ou moins perméable offrant le plus souvent une assez forte épaisseur. Cependant elle fait parfois défaut dans les parties où les dépôts diluviens ont une puissance ou une perméabilité restreintes et recouvrent des assises tertiaires argileuses, comme celles des étages ypresien et rupelien. Quant à la qualité des eaux de cette région, elle laisse souvent à désirer, à cause de la trop faible épaisseur de la couche filtrante qui sépare la nappe aquifère de la surface du sol, parfois aussi à cause de la nature tourbeuse ou ferrugineuse des terrains. Quoi qu'il en soit, on consomme presque partout de l'eau de la nappe superficielle recueillie sur place; il y a fort peu de distributions d'eau dans la région.

Les polders étant constitués principalement par des argiles imperméables, l'eau y est très rare et de mauvaise qualité. On y utilise presque exclusivement l'eau de pluie pour l'alimentation humaine.

Les dunes sablonneuses du littoral recèlent des quantités d'eau qui peuvent suffire pour l'alimentation dans

quelques localités de cette région, mais non pas dans toutes les grandes stations balnéaires. Quelques-unes de celles-ci ont recours à l'eau des canaux, plus ou moins épurée au préalable.

Il n'existe, pour ces régions de la basse Belgique, qu'un très petit nombre de projets de distributions d'eau nouvelles. L'eau serait ou bien captée par des puits profonds dans les sables ou les sables argileux quaternaires ou tertiaires, soit sur place, soit à des distances plus ou moins grandes, ou bien prise aux sources du Condroz avec celles qui alimentent déjà la plus grande partie de l'agglomération bruxelloise. Il n'est plus guère question, pour le moment, de nouvelles distributions d'eau de rivière, d'étang ou de canal.

Le petit nombre de projets de distributions d'eau pour ces régions, comme de distributions existantes, tient d'une part à ce que, abstraction faite de la qualité, l'eau s'y rencontre généralement en quantité suffisante à peu de profondeur, d'autre part à ce que les nappes d'eau de bonne qualité sont rares ou peu abondantes, sans compter qu'elles se trouvent toujours à des niveaux trop bas pour pouvoir alimenter des distributions sans l'intervention de machines élévatrices.

Un certain nombre de communes projettent d'établir des puits publics ou même des citernes publiques, ces dernières presque exclusivement dans les polders. Les citernes ne peuvent évidemment recueillir de l'eau en quantité suffisante pour des services publics que dans des localités de peu d'importance ; et l'on sait que l'eau de citerne est de saveur fade et qu'elle est souillée par des matières organiques.

On tente un peu partout, dans ces régions, le captage par puits ordinaires ou artésiens pénétrant à grande profondeur dans l'une ou l'autre assise aquifère de sables quaternaires ou tertiaires, voire même de tuffeau ou de craie secondaires. Ce moyen est déjà employé avec

plus ou moins de succès en divers points de la basse Belgique, ainsi que du nord du Brabant; en d'autres endroits il n'a procuré que des quantités d'eau relativement faibles ou de l'eau présentant une teneur excessive en matières salines.

Le bas Luxembourg, formé d'alternances nombreuses de zones perméables et de zones imperméables, possède en beaucoup d'endroits des approvisionnements naturels d'eau alimentaire de bonne qualité; mais il reste souvent à capter cette eau dans de meilleures conditions, de façon à en mieux empêcher la contamination, ou à l'amener à plus faible distance des agglomérations.

Il y a relativement peu de projets pour cette région; ils tendent à la distribution d'eaux du calcaire sableux sinémurien, du grès virtonien ou du calcaire bajocien.

Si l'on considère l'ensemble des mesures projetées, on voit qu'environ trois cents communes, réparties dans les diverses régions du pays, comptent installer ou développer des distributions d'eau; qu'une bonne centaine ont l'intention de créer des puits publics ou d'établir des fontaines ou des citernes publiques.

Ce sont les eaux de sources, déjà prépondérantes dans les distributions actuelles, qui sont destinées à alimenter encore la plupart des distributions projetées. Ces eaux présentent divers avantages : le volume en est parfaitement connu; le captage s'en exécute sans difficulté et sans appauvrissement des couches aquifères; la filtration naturelle les a dépouillées des souillures contractées à la surface; le contact avec le terrain a été d'une durée suffisante pour la dissolution des principes utiles, mais non pas, en général, pour occasionner une minéralisation excessive. Les sources abondantes et pérennes des terrains siliceux, en particulier, sont des plus appréciées. Malheureusement les sources ne se rencontrent que dans les régions acci-

dentées de la haute et de la moyenne Belgique; les sources des terrains siliceux n'ont souvent qu'un débit restreint; certaines sources, particulièrement dans les terrains calcareux, sont exposées à la contamination en raison de leur communication trop directe avec la surface par des fissures incomplètement remplies de matériaux filtrants.

Les autres projets principaux sont basés sur l'utilisation d'eau de drains, souvent combinée avec celle d'eau de source ou d'eau de puits. Les drains de coteaux provoquent la formation de sources artificielles. Les drains profonds, de même que les puits profonds, dont on retire de grands volumes d'eau, épuisent assez souvent de façon irrémédiable des réserves lentement accumulées, en soutirant aux terrains plus d'eau que ne peuvent leur en fournir les infiltrations pluviales : on voit alors, au bout d'un certain temps, le débit tomber pour ne plus se relever. A part cet écueil, les eaux de galeries de drainage et les eaux de puits, surtout celles qui proviennent des terrains gréseux ou sablonneux, sont très recommandables; au point de vue de la pureté résultant de la filtration naturelle, elles présentent les meilleures garanties.

Il existe quelques projets importants de captage d'eaux au moyen de larges puits ou de batteries de puits. Signalons le vaste avant-projet de distribution à la basse Belgique d'eau de groupes de puits s'alimentant dans les sables quaternaires ou pliocènes de la Campine. Notons aussi des projets de captage d'eau de la craie, par des puits ordinaires ou des puits artésiens de fort diamètre.

Il y a enfin quelques projets de forage de puits artésiens de faible diamètre pour l'alimentation de pompes publiques ou même de petites distributions d'eau. Ces forages n'ont généralement en Belgique, d'après l'expérience acquise, que des débits assez faibles et

tendant constamment à diminuer; à grande profondeur, ils ne recueillent le plus souvent que des eaux impropres à l'alimentation, à cause de leur salure excessive.

Le creusement de puits assez profonds, ordinaires ou artésiens, constitue dans la plupart des contrées un moyen simple et pratique de se procurer une bonne eau alimentaire, tant pour les services publics d'importance restreinte que pour les usages privés, à condition d'établir ces ouvrages de manière à éviter la souillure.

Malgré les facilités qu'elle présente, l'utilisation des eaux courantes et des eaux de canaux ou d'étangs, pour des distributions, tend à être délaissée. A moins d'être complété par l'emploi d'appareils d'épuration efficaces, ce système n'est admissible que si l'eau provient de contrées peu habitées et peu cultivées, et moyennant des précautions et une surveillance spéciales dans tout le bassin hydrographique en amont, afin d'empêcher la contamination.

Si l'on rapproche les uns des autres, pour les diverses régions, les nombres de communes où l'approvisionnement en eau alimentaire laisse beaucoup à désirer et les nombres de communes où l'on projette de prendre des mesures pour remédier à cette situation, on constate que, parmi les communes mal pourvues, le tiers à peine s'occupent des mesures à prendre; et que, le jour où les projets actuellement conçus seraient exécutés, plus du tiers des communes du pays seraient encore sans approvisionnement suffisant en bonne eau alimentaire.

Les régions où l'on reste le plus en retard sont les Polders et les Dunes, la Flandre nord et sud-ouest, la Campine. L'obtention de bonne eau en quantité suffisante y présente, comme on l'a vu, des difficultés spéciales. En la plupart des points l'eau devra être amenée

d'endroits éloignés. Cependant il paraît exister en Campine, à la partie nord, une abondante nappe d'eau de bonne qualité : on la voit former des étangs dans des sablières aux environs de Moll. Certains sondages pratiqués en Campine dans ces derniers temps auraient également fait découvrir des nappes puissantes d'eau de bonne qualité, parfois jaillissante.

Après la basse Belgique, les parties qui compteront encore les plus fortes proportions de communes pauvres en eau sont la Famenne, le Condroz et l'Entre-Sambre-et-Meuse, la Hesbaye sud et le Hainaut. Dans le Condroz nord, la Hesbaye sud et le Hainaut, les eaux sont en grande partie drainées ou polluées par les travaux miniers et les opérations industrielles ; toutefois il s'en trouve encore assez de pures pour alimenter bon nombre de distributions. Dans le Condroz centre et sud et dans la Famenne, les bonnes eaux ne font pas défaut ; mais il faut souvent aller les prendre à de grandes distances.

C'est dans l'Ardenne et surtout dans le bas Luxembourg, la Hesbaye nord, le Brabant et la Flandre sud-est que l'on sera bientôt, si on ne l'est déjà, le mieux pourvu d'eau. Toutefois il y aura encore un assez bon nombre de communes où la situation ne sera pas entièrement satisfaisante. Dans l'Ardenne, les drains et les cours d'eau fourniraient assez facilement le complément nécessaire ; dans la Hesbaye nord, le Brabant et la Flandre sud-est, on pourrait, sans beaucoup de peine, établir des services publics partout où le besoin en serait reconnu ; les eaux de source ne sont pas rares dans cette région et les nappes aquifères sont faciles à drainer par des galeries ou par des puits.

Quelle est, quelle doit être la part d'intervention de l'administration supérieure et de la législature pour hâter la complète solution du problème ?

Les autorités supérieures interviennent par voie d'avis et de subsides.

Les Provinces et l'État disposent de services techniques ayant pour mission d'éclairer et de guider les communes désireuses d'établir soit des distributions d'eau, soit des fontaines ou des puits publics dans les conditions prévues pour l'obtention de subsides.

Les services provinciaux viennent d'abord en aide aux communes. Lorsque les plans sont transmis à l'administation centrale, celle-ci les étudie à son tour, en faisant au besoin des enquêtes sur place. Si l'accord s'établit pour exécuter les ouvrages suivant toutes les règles de l'art, dans de bonnes conditions économiques et de façon à ce qu'une bonne eau soit mise gratuitement à la disposition du public et livrée aux abonnés au plus bas prix possible, sans qu'il en résulte un bénéfice pour la commune, l'État et la Province participent aux frais jusqu'à concurrence de la moitié environ. Le Gouvernement dépense chaque année plus d'un demi-million de francs en subsides de l'espèce; les provinces réunies, plus d'un quart de million.

Une circulaire de M. le Ministre de l'Agriculture a indiqué les mesures à prendre pour empêcher la contamination des eaux par les fosses d'aisance, à purin et à fumier, et promis des subsides aux cultivateurs qui auraient isolé ces fosses en construisant des parois étanches.

Les administrations provinciales et centrales s'attachent à provoquer des groupements rationnels de communes en vue des distributions d'eau. Un certain nombre de ces groupements ont déjà été réalisés. Il a été élaboré un projet de loi tendant à favoriser ces associations intercommunales.

On a proposé aux Chambres, à diverses reprises, de constituer pour l'alimentation en eau du pays entier une société sur le modèle de la Société nationale des Che-

mins de fer vicinaux, dans laquelle toutes les communes seraient intéressées, ainsi que les Provinces et l'État. Mais cette proposition ne paraît pas revêtir, jusqu'à présent, la forme et les caractères d'une idée pratiquement réalisable. Le système des groupements de communes semble susceptible d'une application plus facile et plus efficace : il offre les avantages de l'association, tout en sauvegardant les prérogatives et l'autonomie des communes.

L'organisation actuelle paraît susceptible de quelques compléments, en vue de mieux assurer la bonne qualité des eaux. Il conviendrait que, lors même que des subsides ne doivent pas être accordés pour l'exécution des travaux, l'autorité supérieure eût mission de contrôler tous les projets d'établissement de services publics au point de vue de la pureté des eaux et des mesures proposées pour en éviter la contamination ; il faudrait que cette surveillance continuât à s'exercer d'une façon régulière après l'exécution des projets et qu'elle portât sur toutes les eaux servant à l'alimentation, même privée.

Il y aurait enfin à définir officiellement les conditions auxquelles doit satisfaire une eau destinée à être consommée comme boisson, ou à être mélangée à d'autres boissons ou denrées alimentaires, ainsi qu'à unifier les méthodes d'analyse.

On en arriverait ainsi, pensons-nous, à une solution satisfaisante de cet important problème : Assurer à toute la population la jouissance d'une bonne eau alimentaire en quantité suffisante.

J.-B. André.

L'ALGEBRE

DE JAQUES PELETIER DU MANS

DEPARTIE AN DEUS LIVRES

(XVIe SIÈCLE)

L'état de l'algèbre, en France, vers le milieu du XVIe siècle a été jusqu'ici peu étudié. Cantor lui-même, toujours si complet, n'en parle guère. C'est là cependant une page d'histoire bien intéressante, car Viète a eu, chez ses compatriotes, plus d'un précurseur. Trois d'entre eux notamment, Jacques Peletier du Mans, Jean Borrel Butéon et Guillaume Gosselin mériteraient d'être connus.

M. Wertheim de Francfort le premier s'est mis à l'œuvre. Dans un article excellent il a essayé d'appeler l'attention sur la *Logistica* (1) de Butéon. Mais l'histoire des Mathématiques est si peu en honneur en France! Cette étude parut à Leipzig, dans la BIBLIOTHECA MATHE-

(1) *Ioan. Bvteonis Logistica qvæ & Arithmetica vulgò dicitur in libros quinque digesta : quorum index summatim habetur in tergo. Eivsdem, Ad locum Vitrunij corruptum restitutio, qui est de proportione lapidum mittendorum ad balistæ foramen, Libro Decimo*, Lvgdvni, Apvd Gvlielmvm Rovillivm, Svb Scvto Veneto. M. D. LIX. Cum priuilegio Regis (Univ. de Louvain, Scienc. 498; Univ. de Gand, Math. 648).

MATICA (1), et passa à peu près inaperçue en dehors de l'Allemagne.

Moi-même j'ai essayé naguère, dans le même recueil périodique (2), un travail analogue sur le *De Arte Magna* de Guillaume Gosselin (3).

Restait l'*Algèbre* de Jacques Peletier.

Je projetais depuis longtemps d'en écrire une analyse, mais une difficulté m'arrêtait. L'*Algèbre* de Peletier a eu d'assez nombreuses éditions. J'avais sous la main l'édition française publiée, en 1609, à Cologne, chez Jean de Tournes (4); j'avais aussi l'édition latine qui parut, en 1560, à Paris, chez Guillaume Cavellat, sous le titre de *De occulta parte numerorum* (5); mais

(1) 3e sér., t. II, pp. 213-219. *Die Logistik des Johannes Buteo von G. Wertheim.*

(2) 3e sér., t. VII, pp. 44-66. *Le « De Arte Magna » de Guillaume Gosselin*, par H. Bosmans.

(3) *Gvlielmi Gosselini Cadomensis Bellocasii De Arte magna, seu de occulta parte numerorum, quæ & Algebra & Almucabala vulgo dicitur, Libri Qvatvor. In quibus explicantur æquationes Diophanti, Regulæ Quantitatis simplicis, & Quantitatis surdæ Ad Reuerendissimum in Christo Patrem Reginaldvm Bealnævm, Mandensem Episcopum, Illustrissimi Ducis Alenconij Cancellarium, Comitem Geuodanum, atque in sanctiori & interiori consilio Consiliarium.* Parisiis. Apud Aegidium Beys, via Iacobæa, ad Insigne Lilij albi. M.D.LXXVII (Univ. de Gand. Math. 587. Bibliothèques communales d'Anvers et de Tournai).

(4) L'ALGEBRE || DE IAQVES || PELETIER, || *Departie en deux liures*: || Marque d'imprimeur de Jean de Tournes. || *A Cologni.* || PAR IEAN DE TOVRNES. || M.DC.IX. ||

In-8° de 8 pp. n. ch.; 226 pp. ch.; 4 n. ch. (Univ. de Louvain, Scienc. 570).

Des difficultés typographiques me déterminent à faire mes citations d'après cette édition et non pas d'après l'édition originale. Au surplus, à l'orthographe près, le texte n'en diffère pas. Seul l'avis de « Iaques Peletier aus Françoes », dans lequel l'auteur s'efforçait de justifier sa réforme de l'orthographe, a été omis comme devenu sans objet.

(5) L'ALGEBRE || DE IAQVES PELETIER || DV MANS, || departie an deus || Liures. || *A Tresillustre Signeur* CHARLES || DE COSSE *Marechal de France.* || Marque d'imprimeur de Jean de Tournes. || A LION || PAR IAN DE TOVRNES. || M.D.LIIII. || Auec Priuilege de la Court. ||

In-8° de 20 pp. n. ch.; 225 ch.; 9 n. ch.

Cette édition est écrite conformément aux règles de la réforme de l'orthographe proposées par l'auteur. Cette réforme partait du principe qu'il faut prononcer toutes les lettres écrites et ne pas écrire celles qui ne se prononcent pas; en un mot, écrire comme on prononce. Cela conduisit Peletier à devoir

l'édition originale de Lyon, 1554, me manquait (1).

Or, cette édition de Lyon n'était pas seulement la première en date, elle passait pour la meilleure. D'autre

imaginer deux nouveaux caractères pour la lettre *e*; l'*e* barré, très muet; l'*e* cédille, très ouvert.

Pour en donner une idée au lecteur, j'en reproduis ci-contre (pl. I) deux pages tirées de l'avis de Peletier aux Français. Ce sont précisément celles où l'auteur cherche à justifier sa réforme de l'orthographe.

de la Religion du tans jadis : lequez ſur grand' peine, n'etoęt licite de changer ni varier d'vne ſeule lettre. Pource, ſuis contreint de proteſter ancor vne foęs contre leur mecontantemant. Ce que je fę d'autant plus anuis, que j'an è dit alheurs, e au long, ce qui s'an deuoęt dire : e auſsi que le debat me ſamble indine d'ętre inſerè parmi les choſes plus ſerieuſes, męmes ſi elongneęs d'vn tel argumant. Que panſet iz de moę? que je ſoę affectateur de nouueautez? je doę ętre bien loin d'vn tel ſoupſon, qui è touſjours euitè les moz nouueaus, einſi qu'on peut voęr a mon ſtile, ſinon antant que m'à permis l'analogie, ou que m'à contreint la pourete : e qui è touſjours mieus emè lęſſer an l'auangarde les plus hazardeus, quand j'è ſanti qu'il y auoęt doutte de reprehanſion, ou apparance de peu d'honneur. Car quant a l'Ortografe, je ne veù point tirer a louange d'an auoęr etè le reformateur. Aucôtrere, j'eſtime cete vacacion, laquele j'è depęſcheę parmi mes autres affęres, ne me deuoęr ętre tauſſeę : auſsi ne la veù je mętre an ligne de conte auęc tant d'autres meilheurs moyens que j'è de profiter au public. Je veù fęre fondemant ſur la Philoſophie, Oratoęre e Poëſie : Equeles j'è amployè mon tans e mon etude, comme je montre e montrerè touſjours mieus aus hommes Françoęs, ſi Dieu me donne vie, e ſi eus m'an donnet le courage : e le me donneront s'iz ſe montret reconnoęſſans. Que s'iz pourſuiuet de m'ętre einſi injuſtes, iz feront plus contre eus męmes que contre moę, qui è Dieu merci, auſsi beau ecrire an Latin comme les autres, pour tandre a la reputacion plus au loin, e an vüe de plus de monde. Pourquoę donq, dira lon, ecriuèz vous einſi? pour fęre honneur antier au Françoęs. Car pour quele fin ecrìt on an vne langue, ſinon pour la randre celebre? commant ſera ęlle celebre, s'ęlle n'ęt lue de beaucoup de gans? commant ſera ęlle lue, s'ęlle n'ęt bien ecritte? commant ſera ęlle bien ecritte, ſi nous y mettons tant de lęttres qui ne ſe prononcet point, e ſi nous y omettons ce qui conuient a la prononciacion? Ne me contreignèz, Françoęs, d'abandonner mon Anſeigne pour me retirer aus etrangers. Eyèz egard a l'honneur que je fę a votre langue an faueur de vous, e a vous an faueur d'ęlle. Ici n'y à crime de lęſe majeſte diuine ni humeine. Ceus qui ne voudront ſuiure ma mode d'ecrire, qu'iz la me lęſſet paiſible, comme je leur quitte aſſez voulontiers la leur.

Planche I

(1) Iacobi Peletarii ‖ Cenomani, De Occulta ‖ Parte Nvmerorvm, Qvam ‖ Algebram vocant, Libri duo. ‖ Marque d'imprimeur de Guillaume Cavellat, ‖ Parisiis, ‖ *Apud Gulielmum Cauellat, sub pingui Gallina,* ‖ *ex aduerso Collegij Cameracensis.* ‖ 1560 ‖ Cvm Privilegio. ‖. In-4° de 4 feuillets. n. chiff.; 57 ff. ch. au r° seul; 6 n. ch. (Univ. de Louvain, Scienc. 355, Bibl. Royale de Belgique, v. 4907).

Dans la préface Peletier dit : « Nostræ verò illius Gallicæ editionis speciem

part, les éditions de Cologne et de Paris n'étaient pas une pure traduction l'une de l'autre, et si l'édition française était incontestablement supérieure à l'édition latine, pouvais-je, pour cela, la regarder comme la reproduction fidèle de l'édition originale?

J'en étais là, me voyant, bien au regret, sur le point de devoir remettre l'exécution de mon projet à plus tard, quand, avec son obligeance habituelle, l'éminent éditeur de la Correspondance de Sluse, M. Le Paige, m'informa qu'il possédait un exemplaire de l'édition de 1554 et le mit gracieusement à ma disposition. Qu'il veuille bien agréer l'expression de mes plus vifs remerciements. Je dois les mêmes remerciements à MM. les bibliothécaires de l'Université de Louvain et tout particulièrement à M. Wils, qui m'ont prêté les éditions de Paris 1560, et de Cologne 1609 (1).

I

Jacques Peletier, littérateur, poète et mathématicien français naquit au Mans, le 25 juillet 1517. Envoyé de bonne heure à Paris, il fut placé au collège de Navarre, sous la direction de Jean Peletier, son frère, qui y professait la philosophie. Au sortir du collège, il s'adonna pendant quelque temps au barreau, qu'il abandonna bientôt pour passer à l'enseignement. En 1544, on le trouve au collège de Bayeux. Trois ans plus tard, en 1547, il en était Principal, quand il prononça dans la chaire de Notre-Dame l'oraison

sic retinuimus, vt multa interim expunxerimus, multa immutaverimus, novam dixeris ». Ces changements ne sont pas tous également heureux.

(1) Outre les trois éditions précédentes, il y en eut, en 1622, une autre de l'*Algèbre* française, c'est celle dont se sert Treutlein quand il cite Peletier dans *Die Deutsche Coss* (ABHANDLUNGEN ZUR GESCHICHTE DER MATHEMATIK. T. 2. Leipzig, 1879, pp. 20 et 21). Dans cet article, disons-le ici pour ne plus y revenir, l'auteur adresse à Peletier un reproche aussi inattendu qu'injuste : celui d'utiliser Stifel, sans le nommer. Le nom de Stifel revient sous la plume de Peletier, à tout instant!

funèbre d'Henri VIII, roi d'Angleterre. Cet événement semble avoir fait époque dans sa vie.

L'humeur changeante de Peletier le poussa à résigner ces fonctions pour aller loger dans la maison de l'imprimeur Vascosan, où il conçut le curieux projet de réformer l'orthographe d'après la manière de prononcer. C'est l'objet de son *Dialogue de l'Ortografe e Prononciation françoese, departi an deus livres* (1).

Cet ouvrage à peine terminé, Peletier s'enflamma d'ardeur pour la médecine, qu'il alla étudier à Poitiers, en 1550. Il résida ensuite successivement à Bordeaux, à Béziers, à Lyon, à Rome; puis parut se lasser de sa vie errante, pour se fixer quelque temps à Paris, où il prit le grade de licencié en médecine. Les tumultes de la guerre l'en éloignèrent de nouveau. Il fit alors un assez long séjour à Annecy, en Savoie. Après quoi, en 1578, il rentra de nouveau à Paris pour y exercer les fonctions de Principal du Collège du Mans. Peletier mourut, à Paris, en juillet 1582.

On le voit, la ténacité et la constance ne furent pas le fort de Peletier. Aussi se laissa-t-il dominer par un travers fréquent chez les savants du XVIe siècle, celui d'écrire sur les sujets les plus divers. D'esprit délié, d'un jugement droit, doué de connaissances étendues et variées, il le fit avec succès. Son *Art poëtique* (2), pour ne nommer que lui, contient des préceptes judicieux et se termine par des piécettes de poésie écrites en vers vifs et faciles. Mais je ne me propose pas de donner ici une monographie complète de Peletier. Je n'étudierai pas même en entier son œuvre mathéma-

(1) Poitiers, de Marnef, 1550, in-8°. L'ouvrage est écrit avec l'orthographe propre à l'auteur, dont nous avons donné un échantillon dans la planche I, ci-dessus.

(2) *L'Art Poëtiqve de Iaques Peletier du Mans, Departi an deus Liures.* A Lyon. Par Ian de Tournes, e Guil. Gazeau. 1555. Auec Priuilege du Roe. (Bibl. Royale de Belgique, II, 1834). Ouvrage écrit avec l'orthographe propre à l'auteur.

tique, je limite rigoureusement mon sujet à l'*Algèbre*, sans même y joindre l'*Arithmétique* (1).

Le lecteur le remarquera, je cède la plume à Peletier, le plus possible. Mon travail y gagne du tout au tout. Rien ne vaut cette langue française du XVI[e] siècle, si naïve, si lumineuse, que l'auteur manie avec tant de charme. Au surplus, pour rendre les démonstrations parfaitement intelligibles, il me suffisait d'y multiplier les alinéas, conformément à nos habitudes, et de traduire au fur et à mesure les formules en notations modernes (2).

J'aurais sans doute pu abréger de quelques pages en me substituant davantage à mon modèle.

C'eût été perdre en intérêt plus que gagner en brièveté.

Il y a toujours avantage à écouter les maîtres eux-mêmes. Une analyse, si bien faite soit-elle, est un pis-aller. Très utile, parfois même nécessaire pour l'intelligence des œuvres originales, elle ne saurait dispenser de leur lecture.

(1) Dans cet article je ferai mes citations d'après *L'Arithmetiqve De Iaqves Peletier Du Mans, Departie en quatre liures. Troisieme edition, reueuë et augmentee*. Par Iean de Tovrnes. M.DC.LVI. A Cologni (Univ. de Louvain Scienc., 570).

Je ne sais trop comment il faut expliquer ces mots : « troisième édition ». D'après le *Supplément du Manuel du Libraire et de l'Amateur de Livres par Brunet*. T. 2 (Paris, Firmin Didot, 1860, col. 190 et 191), il y aurait eu antérieurement :

1° *L'Arithmetique departie an quatre livres*, Poictiers (Marnef) au Pelican, le 12 fevrier 1548;

2° La même. A Theodore Debesze (*sic*). A Poictiers, chez les Marnefs, 1549;

3° *L'Arithmetique de Iaques Peletier du Mans, departie an IV livres*. A Theodore de Besze. Poitiers, Enguilbert de Marnef. 1552;

4° *L'Arithmetique de Iaques Peletier du Mans, departie an quatre livres. Revuë et augmantee par l'auteur*. A Lion, par Ian de Tournes. M D.LIIII.

En outre, le *Catalogue de l'Astor Library, à New-York*, signale dans cette Bibliothèque une édition de l'*Arithmétique* de Lyon, 1570.

Les éditions de Poitiers 1549 et de Lyon 1554 existent au *British Museum*.

(2) Je n'ai fait aucune attention à la ponctuation de Peletier, très différente de la nôtre; c'eût été compliquer notablement et sans utilité sérieuse la lecture des textes.

Et cependant en revoyant mon travail j'ai eu un moment d'hésitation devant les longues démonstrations de Peletier. Aurait-on la patience de lire jusqu'au bout ses interminables solutions d'équations à plusieurs inconnues? Ne fallait-il pas, malgré tout, abréger, résumer?

Je ne l'ai pas cru, et le lecteur, j'ose l'espérer, m'en saura gré.

Peletier, par sa longueur, nous donne, sans le savoir, une leçon singulièrement utile et instructive. Nous oublions vite ce que nous devons aux efforts de nos ancêtres. Ce sont eux qui ont créé l'atmosphère dans laquelle s'est écoulée notre enfance. Sans leurs labeurs les progrès dont nous sommes si fiers eussent été impossibles. Il est malaisé de se figurer encore aujourd'hui la patience et l'ingéniosité déployées par les premiers inventeurs pour donner à la théorie des équations à plusieurs inconnues leur élégance et leur belle simplicité. Peletier nous le rappelle. Malgré la supériorité de sa langue, en lisant ses démonstrations hésitantes, longues, pénibles, on en éprouve un mouvement d'impatience. Eh quoi? Est-ce là l'œuvre d'un maître, ou un devoir d'élève inexpérimenté? Et cependant ce sont quelques pages écrites dans ce style et traduites, en partie, ici par Peletier, qui ont rendu immortels les noms de Cardan et de Stifel.

II

Commençons par transcrire les titres des chapitres du premier livre. La lecture en sera un peu aride; mais, nécessaire pour donner une idée d'ensemble de ce livre, elle me permettra tantôt d'abréger.

Dans l'idiome de Peletier, la *cos* est l'algèbre; les *nombres cossiques* sont les expressions renfermant

l'inconnue; les *signes cossiques*, les lettres et autres caractères graphiques par lesquels on les représente.

Les nombres cossiques *simples* sont les cossiques monômes; les cossiques *composés*, les binômes dont les deux termes sont séparés par le signe plus; les cossiques *commecomposés*, les binômes dont les deux termes sont séparés par le signe moins. Dans chacun des deux derniers cas, l'un au moins des termes doit, naturellement, contenir l'inconnue.

Les *absolus* ou *nombres absolus* sont les termes tout connus; les *absolus des cossiques*, les coefficients des inconnues.

Les *nombres radicaux* sont les puissances exactes des nombres entiers.

L'*extraction des racines des nombres cossiques* est la résolution des équations.

Enfin la théorie des *racines secondes* est la théorie des équations à plusieurs inconnues.

Ces termes définis, les titres des chapitres se comprennent sans peine.

« Chap. 1er. — De l'invention et usage de l'algebre et de ceux qui en ont escrit (Chapitre contenant quelques notions historiques sommaires, en général exactes).

» 2. — Des nombres appartenans aux operations de l'algebre.

» 3. — De l'invention des nombres radicaux et de leurs characteres significatifs.

» 4. — De l'invention des signes appartenans à chasque nombre radical.

» 5. — Des nombres appartenans particulierement à l'algebre.

» 6. — De l'algoritme des nombres simples cossiques; et premier de l'addition et soustraction.

Chap. 7. — De la multiplication et division des nombres simples cossiques.
» 8. — Des multiplications radicales et des simples radicaux (c'est-à-dire des puissances et des racines entières des monômes).
» 9. — De l'algoritme des cossiques composés et commecomposés et de celuy des signes plus et moins. Et premier de l'addition et soustraction.
» 10. — De la multiplication et division des signes plus et moins.
» 11. — Des fractions des nombres cossiques.
» 12. — De l'equation, partie essentielle de l'algebre.
» 13. — De la transposition des signes plus et moins qui advient en l'equation.
» 14. — De la reduction des nombres cossiques à minimes termes.
» 15. — De la reduction de l'equation entre fractions, à equations d'entiers (en d'autres termes : de l'évanouissement des dénominateurs).
» 16. — De l'extraction artificielle des racines des nombres cossiques composés et commecomposés à la forme des nombres absolus (Dans ce curieux chapitre il s'agit de l'extraction de la racine carrée des polynômes).
» 17. — De l'extraction des nombres cossiques composés et commecomposés, en forme generale de prattique (C'est la résolution des équations du second degré).
» 18. — De l'extraction des nombres qui portent signes doubles ou composés (Des équations réductibles au second degré).

A la lecture de ces titres, on voit que le premier livre peut se subdiviser en trois parties : le calcul algébrique (chap. 1-11); la résolution des équations à une inconnue (chap. 12-25); la résolution des équations à plusieurs inconnues (chap. 26-30). Nous les passerons successivement en revue.

Le calcul algébrique ne donne guère lieu à observations.

L'addition, la soustraction et la multiplication sont exposées correctement. N'était-ce l'écriture, on pourrait presque les croire empruntées à un de nos manuels d'algèbre élémentaire, dont on aurait cherché à vieillir le style.

Ainsi, une puissance, nous l'avons déjà dit, se nomme chez Peletier, *nombre radical;* et chaque nombre radical porte lui-même un nom particulier.

« Le premier nombre radical est le quarré, lequel, avec ceux qui ont traicté les racines (c'est-à-dire, la résolution des équations), nous appellerons *nombre censique;* de ce mot *cens*, comme si un nombre quarré fust le cens ou revenu de sa racine multipliee par soymesme (1) ».

Le second nombre radical est le *cubique.*

Le troisième, c'est-à-dire la quatrième puissance, est le *censicensique.*

De même, les cinquième, sixième et septième puissances sont, respectivement, le *sursolide* ou *premier relat*, le *censicubique*, le *second sursolide* ou *second relat*, etc.

Quant aux notations écrites, les quantités connues sont toujours exprimées sous une forme purement numérique. Seules les inconnues sont représentées par des lettres, ou pour parler plus exactement, par des *signes cossiques*, dont quelques-uns, tel notamment le cube, ne font pas partie de l'alphabet.

Cette notation par signes cossiques, comme la conçoit Peletier, exige pour chaque puissance exprimée par un nombre premier, y compris l'unité, l'emploi d'un signe cossique différent. Dans les éditions françaises de son

(1) L'*Algebre*, ed. 1609, p. 6; ed. 1554, p. 6.

Algèbre (1), Peletier emploie les caractères reproduits ci-dessous, planche II, d'après une photographie prise sur l'édition de 1554.

8 PREMIER LIVRE

nous fournit de termes consecutiz, pour exposer les nombres Radicaus e leurs Sines: comme vous voyez par la Table ici mise.

0, 1, 2, 3, 4 5, 6, 7, 8, 9, 10,
1, R, ç, cf, çç, ß, çcf, bß, ççç, cfcf, çß,
1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024,

11, 12, 13, 14, 15, 16.
cß, ççcf, dß, çbß, cfß, çççç.
2048, 4096, 8192, 16384, 32768, 65536.

Au premier rang, ęt la Progression Aritmetique, selon la consecution naturelle des Nombres: E l'vnite, qui ęt au dessus de R, se nometa l'exposant de ce sine R: e 2 qui ęt au dessus de ç, sera l'exposant de ce sine ç: E 3, l'exposant de cf: 4, de çç, e einsi par ordre.

Au second rang, sont les Caracteres des nombres Radicaus qui appartienet a l'Algebre, portans leur denominacion. Sauoęr ęt, R, Racine: ç, Çanse: cf, Cube: çç, Çansiçanse &c.

Au tiers rang, ęt la Progression Geometrique Double: La ou vous voyez 2 pour Racine, ętre souz ce sine R: e 4, nombre Çansique, souz son sine de ç: 8, Cubique, souz son sine cf, &c. Telemant que le dernier terme, qui ęt

DE L'ALGEBRE.

ęt 65536, ęt Çansiçansiçansiçansique: comme vous voyez par le sine çççç. E ancor' que le mot samble ętre rude, il suffit qu'il soęt signifiant. Car c'ęt beaucoup d'auoęr trouué nom a choses si inusitees e si peu prattiquees.

L'exposicion de la Table. Ce que font l'Addicion e la Souttraccion an la Progression Aritmetique, cela méme font la Multiplicacion e la Diuision an la Progression Geometrique. Sauoęr ęt, Comme par l'addicion de ces deus termes superieurs 4 e 6, se produiset 10: einsi par la multiplicacion de 16 par 64, se produiset 1024, qui ęt le terme souz 10, exposant. Item, Comme par addicion, 5 e 7 font 12, einsi leurs nombres 32 e 128, font par multiplicacion 4096, qui sont souz l'exposant 12.

De l'inuancion des Sines appartenans a chaque nombre Radical. CHAP. IIII.

R Esoluez l'Exposant an ses parties incomposees aucuniemes: c'ęt a dire, de la multiplicacion dequeles il ęt represanté. A chacune des parties appliquez son sine propre: e vous aurez le sine qui appartiendra a votre Exposant. Exemple. Si vous voulez trouuer le sine appartenant a cet exposant 24, resoluez 24 an

b c ses

Planche II

Pour éviter des embarras typographiques, je me vois obligé de m'en écarter légèrement et d'adopter la notation.

1,	2,	3,	5,	7,	11,	13,	17
R,	ç,	ζ,	β,	bβ,	cβ,	dβ,	eβ

(1) L'*Algebre*, ed. 1609, pp. 8-11; ed. 1554, pp. 7-11.

Seul, on le voit, le signe cossique du cube, auquel je substitue le ζ grec, diffère sensiblement de la notation originale.

A remarquer en outre que dans le *De occulta parte numerorum*, le *c* cédile *ç* est toujours remplacé par la lettre *q*.

Ces conventions faites, « la progression arithmetique, selon l'ordre naturel de compter, nous fournit de termes consecutifs, pour *exposer* les nombres radicaux et leurs signes » (1). Puis, comme à l'énoncé d'une règle il convient de joindre un exemple, « nous exemplifierons sur la progression (géométrique) double (c'est-à-dire dont la raison est 2), comme vous voyez par la Table icy mise,

0,	1,	2,	3,	4,	5,	6,	7,	8,	9
1,	R,	ç,	ζ,	çç,	β,	çζ,	bβ,	ççç,	ζζ
1,	2,	4,	8,	16,	32,	64,	128,	256,	512

10,	11,	12,	13,	14,	15,	16
çβ,	cβ,	ççζ,	dβ,	çbβ,	ζβ,	çççç
1024,	2048,	4096,	8192,	16384,	32768,	65536

» Au premier rang est la progression arithmetique, selon la consecution naturelle des nombres ; et l'unité, qui est au-dessus de R, se nommera l'*exposant* de ce signe R ; et 2, qui est au-dessus de ç, sera l'*exposant* de ce signe ç ; et 3 l'*exposant* de ζ ; 4 de çç, et ainsi par ordre ».

Le lecteur remarquera cet emploi du mot « exposant ».

La comparaison de la progression arithmétique commençant par 0, avec la progression géométrique

(1) *Algebre*, ed. 1609, p. 8 ; ed. 1554, pp. 7 et 8.

commençant par l'unité suggère à Peletier cette réflexion (1) :

« Ce que font l'addition et la soustraction en la progression arithmetique, cela mesme font la multiplication et la division en la progression geometrique. Sçavoir est : comme par l'addition de ces deux termes superieurs 4 et 6, se produisent 10, ainsi par la multiplication de 16 et 64, se produisent 1024, qui est le terme sous 10, exposant. »

C'est le théorème fondamental de la théorie des logarithmes, mais il n'était pas neuf. Dans son *Algebre*, Peletier n'en dit pas davantage et pour l'entendre traiter le sujet plus au long, il faut recourir à son *Arithmetique* (2). Au surplus les logarithmes n'avaient pas, au XVI[e] siècle, l'importance qu'ils ont prise pour nous. Les premières tables de logarithmes datant de 1614, ils étaient sans utilité pratique. On les tenait pour jolis jeux d'esprit, manières de récréations mathématiques sur la théorie des nombres. *Jucunda tractatio*, écrivait de sa main, sans y voir autre chose, Gemma Frisius, dans une marge de son exemplaire de l'*Arithmetica integra* de Stifel (3).

Outre les caractères des signes cossiques, il nous en faut maintenant signaler d'autres :

L'addition et la soustraction s'indiquent par les lettres *p.* et *m.* suivies d'un point. En cela, Peletier retarde.

(1) *Algebre*, ed. 1609, pp. 9 et 10 ; ed. 1554, p. 9. *De occulta parte numerorum*, f° 2 v°.

(2) *Arithmetique*, ed. 1607, lib. 3, cap. 7, pp. 61-68. Ce chapitre est intitulé : *De la progression des entiers*.

(3) *Arithmetica integra. Authore Michaele Stifelio. Cum præfatione Philippi Melanchtonis*. Norimbergæ apud Iohan. Petreium. Anno Christi M.D.XLIIII. Cum gratia & privilegio Cæsareo atq ; Regio ad Sexennium, f° 35 r° (Univ. de Louvain, scienc. 244). Cet exemplaire est historique. Il a appartenu à Gemma Frisius et contient de nombreuses notes écrites de sa main. Voir la notice que je lui ai consacrée dans les ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE, t. XXX, 1905-1906, 1[e] partie, pp. 165-168.

Les signes + et — étaient d'un usage courant en Allemagne et Peletier les connaissait. Il les connaissait par l'*Arithmetica integra* de Stifel qu'il invoque à toute occasion. Il les connaissait encore par l'*Algèbre* de Scheubelius (1), car il nous apprend, lui-même, qu'il avait « veu le livre de Jean Scheubel, mathematicien de Tubingue » (2). Forcadel, de Beziers, Français comme lui, devait, dès 1557, suivre dans son *Arithmétique* (3), un meilleur exemple.

Les radicaux se désignent en général par le signe $\surd$ employé encore aujourd'hui. Pour les distinguer les uns des autres on faisait suivre le signe du radical par le signe cossique correspondant :

$\surd$ ç 15 p. $\surd$ ç 8 signifie $\sqrt{15} + \sqrt{8}$

(1) Elle parut à Bâle en 1550, sous le titre : *Evclidis Megarensis, philosophi & mathematici excellentissimi, sex libri priores de geometricis principiis, Graeci & Latini, una cum demonstrationibus propositionum, absq; literarum notis, ueris ac proprijs, & alijs quibusdam usum earum concernentibus, non citra maximum huius artis studiosorum emolumentum adiectis. Algebræ porro regulæ, propter numerorum exempla passim propositionibus adiecta, his libris praemissæ sunt, eædemq; demonstratæ. Authore Ioanne Schevbelio, in inclyta Academia Tubingensi Euclidis professore ordinario. Cum gratia & privilegio Cæsario ad quinquennium,* Basileæ per Ioannem Heruagium. Anno salutis humanæ M. D. L. mense septembri (Bibl. Roy. de Belgique, V. 4932).

Rééditée deux fois à Paris : *Algebræ compendiosa facilisqve descriptio, qua depromuntur magna Arithmetices miracula. Authore Ioanne Scheubelio Mathematicarum professore in Academia Tvbingensi.* Parisiis, Apud Gulielmum Cauellat, in Pingui Gallina, ex aduerso Collegii Cameracensis. 1551. Cum privilegio (Bibl. Roy. de Belgique, V. 5012).

Même titre : Parisiis, Apud Gulielmum Cauellat... 1552 (Bibl. Roy. de Belgique, V. 4907).

(2) L'*Algebre*, ed. 1609, p. 2 ; ed. 1554, p. 2.

(3) *L'Arithmeticqve de P. Forcadel De Beziers. En Laquelle Sont Traictées quatre reigles briefues, qui contiennent les deux cents quarante anciennes : & plusieurs autres reigles, pour l'exercice des nombres entiers, par lesquels on peut facilement parvenir à la cognoissance de l'Algebre. Le tout de l'inuention dudict Forcadel.* A Paris, chez Guillaume Cauellat, à l'enseigne de la Poulle grasse, deuant le college de Cambray, 1557. Avec Privilege (Uuiv. de Gand, Math. 686).

Il était parfois nécessaire d'indiquer qu'un radical affectait deux termes ; jamais trois. Dans ce cas, on plaçait un point après son signe cossique.

$$\sqrt{}\text{ç. } 15 \text{ p. } \sqrt{}\text{ç } 8 \quad \text{signifie cette fois} \quad \sqrt{15+\sqrt{8}}$$

Ces notations expliquées, seule la division mérite de nous arrêter un instant. La théorie en est intéressante chez tous les algébristes du siècle.

« Il faut bien adviser, qu'en la division les signes cossiques soyent mis tous consecutivement, de telle sorte, que nul des entredeux soit obmis. Comme si nous voulons diviser

1ζ p. 1, par 1R p. 1, $(x^3+1) : (x+1)$

il sembleroit de prime face que la position deust estre ainsi :

1ζ p. 1	$x^3 + 1$
1R p. 1	$x + 1$

et que le quotient deust estre 1ç p.1, (x^2+1); mais c'est 1çm. 1R p. 1, $(x^2 - x + 1)$. Parainsi la position et l'operation seront telles » (1) :

(1) L'*Algebre*, ed. 1609, pp. 19 et 20 ; ed. 1554, p. 19. *De occulta parte numerorum*, f° 7 r° et v°. L'exemple est tiré de l'*Arithmetica integra* de Stifel, f° 317 v°, qui ajoute :

« Et ut te juvem ulterius (nam in Cardano modum hunc non invenies) volo exemplum praesens perficere dividendo. »

Stifel dispose les calculs en une seule opération, comme suit (les chiffres et lettres italiques sont biffés dans le texte original) :

— *1*z *1*φ		$-x^2$ x	
*1*ζ + *0*z + *0*φ + *1*	(1z — 1φ + 1	$x^3 + 0x^2 + 0x + 1$	$(x^2 - x + 1$
*1*φ + *1*		$x + 1$	
*1*φ + *1*		$x + 1$	
*1*φ + *1*		$x + 1$	

Dans mes citations de Stifel, je suis obligé, comme pour Peletier, d'adopter des notations conventionnelles rappelant le mieux possible les notations

Je transcris les calculs (1) en omettant les explications qui les accompagnent. Ils se comprennent d'eux-mêmes. On y remarquera le recul d'un rang que l'auteur fait subir au diviseur après chaque division partielle. Peletier suit aussi l'usage, fréquent à son époque, de biffer au fur et à mesure les chiffres employés. J'en reproduis plus loin (pl. III) un exemple, à propos de l'extraction de la racine carrée algébrique. Je me contente de distinguer ici les chiffres biffés en les imprimant en caractères italiques.

1re division partielle

m. 1ç		$-x^2$	
*1*ʓ p. *0*ç p. 0R p. 1		$x^3 + 0x^2 + 0x + 1$	
*1*R p. *1*		$x + 1$	
*1*ʓ p. *1*ç	(1ç	$x^3 + x^2$	(x^2

2e division partielle

m. *1*ç 1R		$-x^2 \quad x$	
*1*ʓ p. *0*ç p. *0*R p. 1		$x^3 + 0x^2 + 0x + 1$	
*1*R p. *1*		$x + 1$	
m. *1*ç m. *1*R	(1ç m. 1R.	$-x^2 - x$	($x^2 - x$

3e division partielle

*1*ç m. *1*R		$x^2 - x$	
*1*ʓ p. *0*ç p. *0*R p. *1*	(1ç m. 1R p. 1	$x^3 + 0x^2 + 0x + 1$	($x^2 - x + 1$
*1*R p. *1*		$x + 1$	

originales. φ, z et ʓ désignent respectivement, la première, la seconde et la troisième puissance de l'inconnue.

(1) L'*Algebre*, ed. 1609, p. 20; ed. de 1554, pp. 19-20. *De occulta parte numerorum*, f° 7 v°.

En terminant l'opération Peletier ne peut se défendre de s'écrier sur un ton triomphant : « Par ceste prattique se peut cognoistre, qu'il n'y a rien qui ne soit reduisible en art » (1).

III

La résolution des équations à une inconnue est l'objet des chapitres 12-25. Peletier, nous l'avons déjà dit, la nomme d'un nom au premier abord assez étrange, mais qui s'explique : *Extraction de Racine*. En effet, pour résoudre une équation l'auteur isole systématiquement dans le premier membre, le plus haut *signe* (2), c'est-à-dire la plus haute puissance de l'inconnue, dont il a au préalable ramené le coefficient à l'unité. Trouver la première puissance de cette inconnue, quand on en connaissait l'expression d'une puissance supérieure, se disait, très naturellement, en extraire la racine.

Cette expression revêtait fréquemment la forme d'un binôme, dont l'un des termes était tout connu, tandis que l'autre renfermait une puissance inférieure de l'inconnue. Quand ces deux termes étaient séparés par le signe *plus*, la racine se nommait *composée*; quand ils l'étaient par le signe *moins*, elle se disait *commecomposée*. Nous avons déjà rencontré ci-dessus ces deux mots, avec la même signification et ils reviendront encore souvent. Il faut s'y habituer. D'après cela, résoudre l'équation

$$x^2 = px + q$$

c'est *extraire une racine censique composée*; résoudre

$$x^2 = px - q \qquad \text{ou bien} \qquad x^2 = q - px$$

c'est *extraire une racine censique commecomposée*.

(1) L'*Algebre*, ed. 1609, p. 21; ed. 1554, p. 20.

(2) Ce mot *signe* est parfois équivoque, chez Peletier. Tantôt c'est, comme ici, le *signe cossique*, mais c'est aussi souvent le signe *plus* ou *moins*.

« L'equation et l'extraction de racines, dit Peletier (1), sont deux parties de l'algebre, esquelles consiste toute la consommation de l'art. Pource, nous les traicterons toutes deux clairement, et au long. Par ce moyen nous reduirons toute l'algebre a une simplicité telle, que de tant de reigles qu'en ont faict les autres, nous n'en ferons qu'une seule, qui les comprendra toutes, ainsi qu'a faict Stifel. »

Cette règle unique, Peletier l'appelle *la grand'reigle generale d'algebre* et l'énonce plus loin en trés grands et gros caractéres.

« Au lieu du nombre incongnu que vous cherchez, mettez 1R, avec lequel faites vostre discours selon la formalité de la question proposee, tant qu'ayez trouvé une equation convenable, et icelle reduite si besoing est. Puis, par le nombre du signe majeur cossique, divisez la partie à lui egalee, ou en tirez la racine telle que montre le signe; et le quotient qui proviendra (si la division suffit), ou la racine (si l'extraction est necessaire) sera le nombre que vous cherchez » (2).

Un esprit difficultueux chicanera peut-être quelques expressions de cette régle. C'est ainsi que Gosselin, dans son *De Arte Magna* (3), lui reproche le principe de la représentation de l'inconnue, par une lettre affectée de la première puissance. Il valait parfois mieux, disait-il, débuter immédiatement par une inconnue élevée au carré ou au cube. D'accord, mais malgré l'observation de Gosselin, la régle Stifel-Peletier n'en

(1) L'*Algebre*, ed. 1609, p. 22; ed. 1554, p. 22. *De occulta parte numerorum*, f° 8 r°. La théorie des équations forme, on le sait, l'objet du livre 3 de l'*Arithmetica integra* de Stifel. Peletier s'y réfère à tout instant; mais il le fait plus souvent encore dans les éditions françaises que dans le *De occulta parte numerorum*.

(2) L'*Algebre*, ed. 1609, p. 46; ed. 1554, pp. 46 et 47. *De occulta parte numerorum*, f° 14 r°. Stifel auquel Peletier dit avoir emprunté cette règle la donne dans l'*Arithmetica integra*, lib. 3, c. 1, f° 227 v°.

(3) Lib. 3, cap. 3, f° 57 r°.

est pas moins remarquable. Elle ne serait pas déplacée dans un manuel moderne d'algèbre.

Pour appliquer cette règle, il faut noter, avec Peletier, ce qui s'ensuit :

« Une equation se doit reduire à telle forme, que le nombre cossique, s'il n'y en a qu'un, demeure seul d'une part, égal au reste de l'equation. Et s'entend aussi, quand il se trouvera une equation comprenant divers nombres cossiques, que celuy de plus grande denomination, c'est à dire, qui aura le plus grand signe, devra demeurer seul, egal au reste de l'equation. Ce qui se fera par transposition » (1).

Cette *transposition* consiste, cela va de soi, à faire passer les termes d'un membre de l'équation dans l'autre en changeant leur signe. « Tout cecy est fondé sur ceste commune conception d'entendement qui est, que si de deux egaux vous ostez portions egales, les remanents sont egaux. Vous voyez comme l'algebre fait son proffit de choses si confessees et si vulgaires, par le moyen desquelles se resolvent des difficultés qui semblent estre impossibles à soudre » (2).

La transposition faite, le terme du degré le plus élevé, *le plus grand signe*, peut avoir un *nombre*, c'est-à-dire, un coefficient. En ce cas, « vous pourrez encore appetisser la reduction par une reigle generale qui est, que par le nombre du plus grand signe vous divisez tous les nombres de l'equation » (3).

Tout ceci est exposé au long par Peletier, en multipliant les explications et les exemples.

Quant au détail, sa résolution de l'équation du second degré, ou extraction de racine censique, n'a rien de neuf. Conformément aux règles énoncées ci-dessus, il

(1) L'*Algebre*, ed. 1609, pp. 25 et 26; ed. 1554, p. 25. *De occulta parte numerorum*, f° 9, v°.

(2) L'*Algebre*, ed. 1609, p. 24; ed. 1554, p. 24.

(3) L'*Algebre*, ed. 1609, p. 29; ed. 1554, p. 29.

ramène l'équation à l'une des trois formes alors classiques

$$x^2 = px + q \quad , \quad x^2 = q - px \quad , \quad x^2 = px - q$$

et donne pour chacune d'elles les formules traditionnelles. A propos de la dernière équation il ne manque pas de dire qu'elle admet deux solutions. C'est évidemment la seule des trois formes qui ait deux racines positives, quand p et q sont positifs.

Dans les éditions françaises, la résolution des équations du second degré fournit à Peletier l'occasion d'expliquer l'extraction de la racine carrée des polynômes. L'auteur n'attache cependant pas grande importance à cette théorie qu'il regarde un peu comme un pur jeu d'esprit inutile à rééditer dans le *De occulta parte numerorum*. L'opération pour réussir doit s'exécuter sur un « exemple cherché et faict artificiellement » (1), c'est-à-dire, obtenu directement par une élévation au carré. Si l'auteur donne cette théorie, c'est, dit-il, « pour formalité, plus que pour reigle; car il y a difference des exemples faicts à main, à ceux qui se rencontrent en prattique, esquels est besoing de particuliere mode d'extraction » (2).

Le procédé de Peletier est élégant. Je le ferai suffisamment connaître en transcrivant les calculs d'un des exemples traités (3). Les chiffres imprimés en italique sont biffés dans le texte original. Je le reproduis ci-contre (pl. III) d'après une photographie prise sur l'édition de 1554.

(1) *L'Algebre*, ed. 1609, p. 31; ed. 1554, p. 31.
(2) *L'Algebre*, ed. 1609, pp. 31 et 32; ed. 1554, pp. 31 et 32.
(3) *L'Algebre*, ed. 1609, p. 32; ed. 1554, pp. 32 et 33.

culiere mode d'extraccion, e autre que non pas es Nombres communs.

Soęt donq que je veulhe trouuer la R cansique de 36ç m.96R p.64. Ie dispose le Nombre comme vous voyez.

36ç m.96R p.64 (6R m.8
12R m.8
96R m.64.

Puis je di einsi. La R cansique de 36ç, ęt 6R: Ie mę 6R pour la premiere particule de la Racine a trouuer, an effaçant 36ç. Puis je double 6R, ce sont 12R: lequeles an m.96R, sont m.8 foęs: Ie mę m.8, pour la seconde particule de la Racine: e le mę aussi souz p.64. Puis par m.8, je multiplie 12R m.8: prouienent 96R p.64: Lequez otez du nombre superieur ne lęsset rien.

Autre Example.

m.120ç
36çç p.48ℨ m.104ç m.80R p.100
12ç p.4R (6ç p.4R
48ℨ m.16ç.

Seconde

Seconde operacion.

m.120ç
36çç p.48ℨ m.104ç m.80R p.100
p.12ç p.8R m.10 (6ç p.4R m.10
p.120ç m.80R m.100.

L'Epreuue se fęt an multipliant la R trouuee (qui ęt 6ç p.4R m.10) par soęmęme, comme vous voyez ci dessouz.

6ç p.4R m.10
6ç p.4R m.10
36çç p.24ℨ m.60ç
p.24ℨ p.16ç m.40R
m.60ç m.40R p.100.
36çç p.48ℨ m.104ç m.80R p.100.

De l'Extraccion des Racines des nombres Cossiques Composez e Commecomposez, an forme generale de prattique.

CHAP. XVII.

Q Vand vous aurez quelque nombre Compose ou Commecompose, duquel il falhe extrere la Racine Cansique: il vous faudra auiser si les sines de Plus ou de Moins seront de la part du nombre absolu, ou de la part des Racines:

d cines:

PLANCHE III

Exemple

m. 120ç	$-120x^2$
36çç p. 48ℨ m. 104ç m. 80R p. 100;	$36x^4 + 48x^3 - 104x^2 - 80x + 100$
12ç p. 4R (6ç p. 4R	$12x^2 + 4x$ $(6x^2 + 4x$
48ℨ m. 16ç	$48x^3 - 16x^2$

Seconde opération

m. 120ç	$-120x^2$
36çç p. 48ℨ m. 104ç m. 80R p. 100	$36x^4 + 48x^3 - 104x^2 - 80x + 100$
p. 12ç p. 8R m. 10 (6ç p. 4R m. 10	$+ 12x^2 + 8x - 10$ $(6x^2 + 4x - 10$
p. 120ç p. 80R m. 100	$+ 120x^2 + 80x - 100$

Cet exemple d'extraction de racine carrée est tiré de l'*Arithmetica integra* de Stifel, où les calculs sont cependant disposés un peu autrement (1).

Les règles données par Peletier pour la résolution des équations sont accompagnées d'un vrai luxe de problèmes et d'exercices. Il en était ainsi chez tous les algébristes du XVI[e] siècle. Dans cette multitude d'applications, j'en retiens deux dont la solution offre un certain intérêt théorique.

Et tout d'abord Peletier semble, à un moment donné, entrevoir l'utilité des nombres négatifs. Je ne voudrais pas, en cela, exagérer son mérite. Cette idée, comme tant d'autres, il l'avait empruntée à Stifel. Mais il n'était pas donné à tout le monde de remarquer tout ce que l'*Arithmetica integra* contenait d'original et d'ingénieux. Écoutons notre auteur.

« *Exemple 6* (2)

» Je cherche un nombre, au-dessous duquel soyent deux nombres, l'un moindre de 8, l'autre moindre de 6; et que ces deux moindres nombres multipliés l'un par l'autre, produisent un nombre plus grand de 4, que le nombre que je cherche.

» Ce nombre est 1 R. $\qquad$ x.

» Les deux nombres moindres, sont
1R m. 8, et 1R m. 6 $\qquad$ $x-8,\ x-6$.

» Je multiplie 1R m. 8 et 1R m. 6 $\qquad$ $(x-8)\ (x-6)$,
proviennent :

(1) F° 239 r°. Stifel exécute toute l'extraction en une seule opération, comme suit :

$$\begin{array}{lll} & -120z & \textit{radix} \\ 36zz + 48\zeta & -104z - 80\varphi + 100 & (6z + 4\varphi - 10; \\ \quad 12z & \quad 12z + 8\varphi & \end{array} \qquad \begin{array}{lll} & -120x^2 & \textit{racine} \\ 36x^4 - 48x^3 & -104x^2 - 80x + 100 & (6x^2 + 4x - 10 \\ \quad 12x^2, & \quad 12x^2 + 8x & \end{array}$$

(2) L'*Algebre*, ed. 1609, pp. 82 et 83 ; ed. 1554, pp. 83-85. *De occulta parte numerorum*, f° 24 r° et v°.

1ç p. 48 m. 14R egaux à 1R p. 4, $x^2+48-14x=x+4$
qui sera par reduction

1ç egal à 15R m. 44 $x^2=15x-44$

» Faites l'extraction, vous trouverez la plus grande R estre 11, ($x=11$). Et c'est le nombre que nous cherchons.

» Les deux nombres moindres sont 5 et 3, lesquels multipliés ensemble font 15, etc.

» L'autre R de 15R m. 44, est 4, ($x=4$); laquelle encores peut verifier nostre exemple, mais c'est *par nombres absurdes qui sont nombres feincts au dessous de rien* (1).

» Sçavoir est : Si nous prenons ceste derniere R, qui est 4, pour le nombre que nous cherchons, les deux nombres moindres seront, m. 4, et m. 2 (= — 4, — 2). Lesquels multipliés ensemble, font 8, qui est tel que veut l'exemple; car 8 surmonte 4, de 4.

» Vous voyez les nombres feincts au dessous de rien, n'estre sans usage; car par eux se fait la preuve des exemples et se monstre la verification des reigles. »

Dans le second exemple, Peletier égale, à un moment donné, le premier membre d'une équation à zéro. Quel est le premier auteur d'un usage si commode? C'est, on le sait, une question d'histoire qui intéressait déjà Wallis (2) et dont de nos jours encore MM. Cantor (3) et Eneström (4) se sont occupés, sans parvenir à l'éclaircir entièrement.

(1) « Finguntur non frustra numeri infra 0, id est, infra nihil », dit Stifel, *Arithmetica integra*, f° 249 r°. Le chapitre V du livre III auquel cette phrase est empruntée est intitulé : De numeris cossicis irrationalibus, et eorum algorithmo et de numeris absurdis.

(2) *Johannis Wallis S. T. D. geometriæ professoris Savilliani, in celeberrima academia Oxoniensi, Opera Mathematica.* Oxoniæ e theatro Scheldoniano, 1693-1695, t. 2, p. 145.

(3) Dans sa réponse à la *Question 307* de l'INTERMÉDIAIRE DES MATHÉMATICIENS, t. 2, 1895, p. 86.

(4) *Ueber Gleichungen, die auf Null gebracht sind.* BIBLIOTHECA MATHEMATICA, 3e série, t. III, 1902, p. 145.

« *Exemple 2* (1)

» Sept aulnes de velours cramoisi, et 3 aulnes de velours noir se vendent 58 escus; et au mesme prix, 2 aulnes de velours cramoisi, et 3 aulnes de velours noir valent 23 escus. Combien vaut l'aulne de cramoisi? (Et suffit de demander de l'une, laquelle congnue, se congnoist l'autre.)

» Je mets pour l'aulne de cramoisi, 1R	x.
» Donc les 7 aulnes valent 7R	$7x$.
» Et les 3 aulnes de velours noir vaudront le reste de 58, sçavoir est, 58 m. 7R	$58-7x$
» Et les 2 aulnes secondes de cramoisi vaudront 2R	$2x$
» Et les 3 secondes de velours noir vaudront 23 m. 2R.	$23-2x$
» Vous avez donc 23 m. 2R egaux à 58 m. 7R	$23-2x=58-7x$.
» Adjoustez 2R à chacun, vous aurez 23, egaux à 58 m. 5R	$23=58-5x$
» Ostez 23 de chacun, vous aurez 35 m. 5R egaux à 0	$35-5x=0$
» De sorte qu'il faut que 35 soyent egaux à 5R	$35=5x$

» Divisez 35 par 5, vous aurez 7. Donc l'aulne de cramoisi se vend 7 escus. Parainsi, les 7 aulnes de cramoisi vaudront 49 escus, et les trois aulnes de noir vaudront le reste de 58 qui est 9; ce sont 3 escus pour aulne. »

(1) *L'Algebre*, ed. 1609, pp. 51 et 52; ed. 1554, pp. 51 et 52. Le *De occulta parte numerorum* a le même exercice, f° 16 r°, mais il le résout en passant par d'autres calculs intermédiaires, qui ne présentent pas la particularité qui nous intéresse ici.

Cet exemple est loin d'être, chez Peletier, le seul du même genre. Précédemment il avait résolu l'équation (1) :

« 6R soyent egales à 12R m. 24 $6x = 12x - 24$

» Ostez de chaque part 6R, lors

6R m. 24 sont egales à rien $6x - 24 = 0$

de sorte qu'il faut que 6R et 24, soyent egaux, puis que p. 6R et m. 24 s'entredestruisent. »

Enfin au cours d'un calcul trop long pour être transcrit ici, on lit encore (2) :

» 216 p. √ç41472 m. 18R m. √ç 648ç égaux à rien. »

$$216 + \sqrt{41472} - 18x - \sqrt{648x^2} = 0.$$

Cette dernière équation est empruntée à Stifel (3). C'est, on le sait, le plus ancien exemple connu d'une équation dont le premier membre est égalé à zéro. Bien longtemps on l'a cru assez isolé, et c'est encore l'opinion de MM. Cantor et Eneström dans les articles rappelés ci-dessus. Descartes était regardé comme le véritable inventeur de la méthode. C'est une erreur. Il suffit de lire les algèbres de la seconde moitié du XVI[e] siècle, avec l'attention appelée sur ce point, pour constater bientôt que Stifel a eu de nombreux imitateurs. Je l'ai montré jadis chez Butéon (4) et chez Gosselin (5); les exemples, on le voit, n'en manquent pas non plus chez Peletier. Pratiqué une première fois par Stifel, l'usage d'égaler à l'occasion le premier membre d'une équation à zéro s'introduisit peu à peu. Descartes ne fit

(1) *Algebre*, ed. 1609, p. 27; ed. 1554, p. 27. *De occulta parte numerorum*, f° 10 r°. Peletier y dit cette fois explicitement : 6R m. 24 æquantur 0 seu nihilo, comme il le fait dans l'*Algebre*.

(2) *Algebre*, ed. 1609, p. 207; ed. 1554, p. 215. *De occulta parte numerorum*, f° 58 r°.

(3) *Arithmetica integra*, f° 283 r°.

(4) Bibliotheca Mathematica. *Kleine Mitteilungen*, 3[e] série, t. VII, p. 91.

(5) Le « *De Arte magna* » *de Guillaume Gosselin*, pp. 57 et 58.

que systématiser une écriture dont il devait avoir lu de nombreux exemples (1). Je l'ai dit ailleurs à propos de certaines notations algébriques empruntées à Adrien Romain (2), ce n'est pas un des moindres titres de gloire du grand géomètre français que de toujours apercevoir ainsi du premier coup d'œil l'importance des découvertes des autres, pour les féconder et en tirer tout le parti possible.

IV

Les chapitres 19-21, les plus originaux de l'*Algebre* de Peletier, demandent une étude attentive, car à eux seuls ils mériteraient de tirer cette algèbre de l'oubli. Ils sont, on se le rappelle, intitulés comme suit :

« Chap. 19. — Nouvelle et compendieuse maniere de trouver l'estimation et valeur des equations. Et premier de l'estimation censique.

» Chap. 20. — De l'invention compendieuse de l'estimation cubique.

» Chap. 21. — De l'invention compendieuse des racines rompues (3). »

L' « invention compendieuse » dont il s'agit consiste à se servir des propriétés des racines, pour résoudre les équations. Nous y trouvons *les plus anciennes propositions connues, énonçant certaines propriétés des racines en fonction des coefficients*. Le savant directeur de la BIBLIOTHECA MATHEMATICA, M. Eneström,

(1) Dans sa *Géométrie*, dont la première édition est, on le sait, de 1637.

(2) *Le fragment du Commentaire d'Adrien Romain sur l'algèbre de Muhamed ben Musa el-Chowârezmî*. ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE, Bruxelles, 1906, t. 30, 2e partie, p. 21.

(3) *Algebre*, ed. 1609, pp. 38-46; ed. 1554, pp. 39-46. Dans le *De occulta parte numerorum*, ces trois chapitres sont résumés en un seul, le chap. 16, intitulé : « *De inveniendis generatim radicibus denominatorum* ». Ff. 12 v°-14 r°.

vient récemment de signaler le fait à l'attention de ses lecteurs (1).

Peletier réclame en termes exprès la paternité de ces théorèmes :

« Apres avoir baillé l'extraction des nombres composés et commecomposés reguliere et demonstrable, je veux icy mettre une nouvelle prattique et facile de laquelle j'ay de coustume d'user, mais qui a lieu seulement pour l'invention des racines rationales » (2).

Et plus loin :

« Voilà nostre invention de racines, belle et facile pour les racines rationales; car les irrationales se traicteront en leur lieu » (3).

L'algébriste français indique toujours avec trop de scrupule ses sources pour révoquer en doute sa parole. Il n'y a pas de raison de contester ses droits de priorité.

Dans les deux premiers chapitres, Peletier suppose les racines rationnelles et de plus entières. Après quoi il fait cette remarque générale :

« J'enten tousjours que le plus grand nombre cossique est 1 pour absolu; ce qui se fait par division, ainsi que nous avons dit » (4). En langage moderne : « Je suppose toujours le coefficient de la plus haute puissance de l'inconnue égal à l'unité, ce que l'on obtient par division. »

Vient ensuite la règle pour l' « estimation censique », c'est-à-dire pour la résolution de l'équation du second degré.

(1) 3e série, 1905, t. 6, pp. 409-410. *Ueber die Entdeckung des Zusammenhanges zwischen den Wurzeln einer Gleichung und der Gleichungskonstante.* M. Eneström cite Peletier d'après le *De occulta parte numerorum*, qui est ici, comme je viens de le dire, moins développé que son *Algèbre*.

(2) *Algebre*, ed. 1609, pp. 38 et 39; ed. 1554, p. 39. Le passage n'est pas traduit dans le *De occulta parte numerorum*, seul cité par M. Eneström.

(3) *Algebre*, ed. 1609, p. 45; ed. 1554, p. 45. N'est pas non plus traduit dans le *De occulta parte numerorum*.

(4) *Algebre*, ed. 1609, p. 39; ed. 1554, p. 39.

« Puis que 1ç est egal à racines et à nombre, il est certain que la R que lon quiert, quelle qu'elle soit, doit estre enclose precisement au nombre ; c'est à dire, que quand le nombre seroit divisé par la R, si elle estoit congnue, il ressortiroit un quotient sans fraction » (1).

Peletier éclaircit sa règle par de nombreux exemples. On y décompose de toutes les manières possibles, le terme tout connu, le *nombre*, en ses diviseurs entiers, puis on essaye s'il en est parmi eux qui vérifient l'équation.

« Comme,

1ç soit egal à 5R p. 1050 $\qquad x^2 = 5x + 1050.$

« Il faut icy avoir cest esgard, que plus le nombre absolu est grand, et plus la R doit estre grande. Mais parce que le nombre des racines est petit, ce ne sera pas le nombre plus grand de la division. Donc, puis que 1050 se divise en 2, en 3, en 5, en 10, en 25, 30, 35 et 50, de prendre 2, 3, 10 ny 50, le jugement y repugne. Vray est que je n'ay point de certain advis, lequel je dois prendre de 30 ou de 35. Mais si je prends 30, je congnoistray, qu'en le multipliant par 5 (nombre des R) et adjoustant le produit à 1050, je feray 1200, qui n'est pas nombre censique. Je prendray donc 35, lequel je multiplie par 5 ; ce sont 175, que j'adjouste à 1050 ; ce sont 1225, dont la R est 35 » (2).

Outre ces exemples particuliers, Peletier énonce encore une règle générale :

Si l'équation du second degré est de l'une des deux formes

$$x^2 = (p + 1)\,x - p$$
$$x^2 = (p - 1)\,x + p,$$

$x = p$ est nécessairement racine de l'équation (3).

(1) *Algebre*, ed. 1609, p. 40 ; ed. 1554, p. 40.

(2) *Algebre*, ed. 1609, pp. 41 et 42 ; ed. 1554, pp. 41 et 42. Cet exercice n'est pas traduit dans le *De occulta parte numerorum*.

(3) *Algebre*, ed. 1609, pp. 39 et 40 ; ed. 1554, p. 40.

Malheureusement il commet, en la formulant, une faute de plume, qui doit l'avoir rendue à peu près inintelligible pour les contemporains. Dans les deux cas, il se trompe de signe devant le terme tout connu et il a la même distraction, dans deux des quatre équations numériques ajoutées en exemple (1).

« La congnoissance de la R cubique, est un peu plus aisee que la censique » (2), dit Peletier, au chapitre 20. Sa règle n'est pas formulée explicitement, mais revient à ce théorème :

Si une équation du 3e degré (à coefficients entiers), d'une des formes

$$x^3 = px^2 + q\,, \qquad x^3 = px^2 - q\,, \qquad x^3 = q - px^2\,,$$

admet une racine rationnelle *entière*, le carré de cette racine doit être un diviseur entier du terme tout connu.

« Et pour exemple, soit

1 ζ egal à 3ç p. 50 $\qquad x^3 = 3x^2 + 50.$

Je sçay que 50 doit contenir certain nombre de censiques (car tout cube est accompli de censiques precis). Donc, je verray incontinent, qu'il n'y a d'autre censique contenu en 50, sinon 25. Parquoy la R que je cherche est 5 » (3).

(1) *Algebre*, ed. 1609, p. 40; ed. 1554, p. 40.
Les quatre exemples traités sont

$x^2 = 9x - 8$	d'où	$x = 8$
$x^2 = 11x - 10$		$x = 10$
$x^2 = 7x - 6$		$x = 6$
$x^2 = 8x - 7$		$x = 7$

Peletier écrit, par distraction, au lieu des deux premières équations :

$x^2 = 9x + 8$ $\qquad x^2 = 11x + 10.$

(2) *Algebre*, ed. 1609, p. 42; ed. 1554, p. 42.

(3) *Algebre*, ed. 1609, p. 42; ed. 1554, pp. 42 et 43. L'équation y est écrite, par erreur,

1 ζ egal à 3 R p. 50 $\qquad x^3 = 3x + 50.$

mais cette faute est corrigée dans le *De occulta parte numerorum*, f° 13 r°.

« Item, soit

1z egal à 1440 p. 2ç $\qquad x^3 = 1440 + 2x^2$

» Je voy que 1440 doit contenir certaine quantité de censiques, et trouve que 144 y est precisement contenu. Donc la R est 12 (1).

» Autant seroit si

1z fust egal à 2016 m. 2ç $\qquad x^3 = 2016 - 2x^2$

car j'eusse semblablement trouvé 144 y contenu (2).

Pour terminer le chapitre l'auteur fait une remarque importante :

« Et icy fait tousiours besoing le jugement. Car combien que les absolus soyent quelquesfois partissables en plus d'une sorte de censique ; comme 2016, combien qu'il se departe en 4 et en 36 ; toutesfois, la grandeur du nombre absolu comparee au nombre des censes, me signifie que 2 ny 6 ne sçauroit estre racine telle que porte la forme de l'equation (3) ».

En un mot, il faut vérifier les solutions.

Peletier essaie, au chapitre 21, de généraliser sa méthode en l'étendant aux racines rationnelles fractionnaires ; mais sa tentative, si intéressante soit-elle, est, cette fois-ci, incomplète. Jusqu'où a-t-il entrevu la vérité ? C'est assez difficile à préciser. Ecoutons-le lui-même :

« Quant aux racines rompues, il sera encor aisé de les congnoistre, qui prendra garde à la façon de l'equation. Car il y aura quelque fraction au nombre absolu,

(1) *Algebre*, ed. 1609, p. 42 ; ed. 1554, p. 43. *De occulta parte numerorum*, f° 13 r°.
(2) *Algebre*, ed. 1609, p. 42 ; ed. 1554, p. 43. *De occulta parte*, f° 13 r°.
(3) *Algebre*, ed. 1609, pp. 42 et 43 ; ed. 1554, p. 43.

qui descouvrira le cube, c'est á dire, qui aura le denominateur cubique, ou reduisible á cubique (1).

» Comme

30ȥ soyent egaux á 18ç p. $\frac{8}{9}$ $\qquad$ $30x^3 = 18x^2 + \frac{8}{6}$

Le denominateur n'est pas nombre cubique, mais la fraction se reduit á $\frac{24}{27}$ qui valent 3 cubes. Par ce moyen, le cube vaut $\frac{8}{27}$, et la R est $\frac{2}{3}$ (2). Et eussiez pu prendre $\frac{8}{9}$ pour 2 ç, car ce sont 2 fois $\frac{4}{9}$, dont la R est aussi $\frac{2}{3}$ etc. » (3).

« Que si au nombre absolu n'y a point de fraction, regardez bien au nombre cossique principal (4), et vous le trouverez divisible en quelque tel radical, que son signe (5) monstre, qui sera le denominateur, et le numerateur se trouvera au nombre absolu. Comme

54ȥ egaux á 18ç p. 8 $\qquad$ $54x^3 = 18x^2 + 8$

» Departez 54, vous aurez 27, cube, pour denominateur, et 8, sera le numerateur. Donc le cube sera $\frac{8}{27}$ (6).

» Autant est de

54ȥ egaux á 9ç p. 12 » (7). $\qquad$ $54x^3 = 9x^2 + 12$

Chacune des deux équations précédentes admet pour racine $\frac{2}{3}$, comme il est aisé de le vérifier.

(1) *Algebre,* ed. 1609, p. 43; ed. 1554, pp. 43 et 44.

(2) *Algebre,* ed. 1609, p. 43; ed. 1554, p. 44. *De occulta parte,* f° 13 r°. — Dans les trois éditions Peletier écrit, par erreur,

$$28x^3 = 18x^2 + \frac{8}{9}$$

(3) *Algebre,* ed. 1609, p. 43; ed. 1554, p. 44.

(4) « Le nombre cossique principal », c'est-à-dire, le coefficient du terme du degré le plus élevé.

(5) Il s'agit du « signe cossique ». Le coefficient du terme du degré le plus élevé doit, d'après Peletier, contenir un facteur entier élevé à une puissance égale au degré de ce terme.

(6) *Algebre,* ed. 1609, p. 44; ed. 1554, p. 44. *De occulta parte numerorum,* f° 13 r°.

(7) *Algebre,* ed. 1609, p. 44; ed. 1554, p. 44.

Peletier, après cette première solution, en donne une seconde, à laquelle il arrive de nouveau par tâtonnement :

« Davantage, il y a un autre moyen de facilité; qui est de diviser les parties egalees, par le nombre du signe cossique plus grand. Lors la division descouvrira la R censique ou cubique (qui est tout un). Comme au dernier exemple,

54ꝛ egaux à 9ç p. 12 $\qquad 54x^3 = 9x^2 + 12$

Divisez 9 ç par 54 et aussi 12 par 54; vous aurez la valeur d'un cube $\frac{9}{54}$ç p. $\frac{12}{54}$, c'est à dire

1ꝛ egal à $\frac{3}{18}$ç p. $\frac{2}{9}$ $\qquad x^3 = \frac{3}{18}x^2 + \frac{2}{9}$

Vous voyez le denominateur censique; duquel prenez la R, retenant le numerateur, et vous aurez $\frac{2}{3}$ pour R.

« Item

54ꝛ egaux à 18ç p. 8 $\qquad 54x^3 = 18x^2 + 8$

Divisez 18 par 54 et aussi 8 par 54. Vous aurez

1ꝛ egal à $\frac{18}{54}$ç p. $\frac{8}{54}$ $\qquad x^3 = \frac{18}{54}x^2 + \frac{8}{54}$

c'est à dire

1ꝛ egal à $\frac{1}{3}$ç p. $\frac{4}{27}$ $\qquad x^3 = \frac{1}{3}x^2 + \frac{4}{27}$

là où vous avez le numerateur de l'absolu, censique; et le denominateur, cubique. Les deux R font $\frac{2}{3}$.

« Comme,

8ç egaux à 2 $\qquad 8x^2 = 2$

font $\frac{2}{8}$, c'est à dire $\frac{1}{4}$, dont la R est $\frac{1}{2}$ » (1).

(1) *Algebre*, ed. 1609, p. 44; ed. 1554, pp. 44 et 45. *De occulta parte numerorum*, f° 13 r° et v°.

Voilà le passage de Peletier en entier.

Peut-on en déduire une formule précise et générale ?

Pour moi, j'avoue ne point l'apercevoir et j'en laisse juge le lecteur.

L'auteur termine le chapitre en disant :

« Par ceste speculation, se descouvre le cube egal aux racines et au nombre ; le cube et nombre egaux aux racines ; le cube et racines egaux au nombre. Et qui plus est, se descouvre le cube egal aux censes et racines ; le cube egal aux censes, racines et nombres, etc. Qui est la plus grande difficulté de tout l'art, et en laquelle les auteurs de l'algebre sont si empeschés, comme on peut voir par ce qu'en dit Cardan dès le premier chap. de son algebre, puis au chap. XI du mesme livre (1) ».

Peletier ne donne pas la règle générale qu'il annonce ici et il est même peu probable qu'il en ait eu la connaissance complète. Mais son procédé devait se perfectionner. En se développant et en prenant corps, il est devenu la théorie de la recherche des racines commensurables des équations. Le nom du savant qui a entrevu le premier une aussi belle méthode, mérite d'être tiré de l'oubli dans lequel il est tombé.

(1) *Algebre*, ed. 1609, pp. 45 et 46; ed. 1554, p. 46. — L'ouvrage de Cardan auquel il est fait ici allusion est intitulé : *Hieronymi Cardani... Artis magnæ, sive de Regulis algebraicis lib. unus, qui et totius operis de arithmetica, quod opus perfectum inscripsit, est in ordine decimus... (V idus januarias 1545)*. Norimbergæ, per J. Petreium, 1545 (D'après le catalogue des livres imprimés de la Bibliothèque nationale, à Paris). L'ouvrage a été réédité dans : *Hieronymi Cardani Mediolanensis Philosophi ac Medici Celeberrimi Opervm Tomvs Qvartvs; Qvo Continentvr Arithmetica, Geometria, Mvsica...* Lvgdvni, Sumptibus Ioannis Antonii Hvgvetan, & Marci Antonii Ravavd. M.DC.LXIII. Cvm Privilegio Regis (Bibl. Roy. de Belgique, V. 3558). Les chapitres indiqués par Peletier se trouvent respectivement, pp. 222 et 249.

V

Les cinq derniers chapitres du premier livre ont pour objet les équations à plusieurs inconnues. « Apres avoir amplement baillé les preceptes et les exemples des racines premieres, l'ordre requiert que nous traictions les racines secondes. Et sous ce mot secondes, s'entendent les tierces, quartes, etc. (1) ».

Les équations à plusieurs inconnues se rencontrent déjà fréquemment, on le sait, chez Diophante. Mais, en 1554, Diophante n'était pas encore édité et l'on devait attendre plus de vingt ans encore les *Diophanti rerum arithmeticarum libri*, de Xylander (2). Ils parurent à Bâle, en 1575. En outre, l'algébriste grec n'employait jamais plus d'un signe graphique pour désigner les inconnues, quel qu'en fût d'ailleurs le nombre. De là l'intérêt d'un problème historique : A qui revient l'honneur d'avoir le premier représenté les inconnues multiples, par des lettres différentes?

« A Christophe Rudolff de Jauer, mais principalement à Cardan », répond Stifel. On peut l'en croire. D'une si haute autorité dans la création de la théorie des équations à plusieurs inconnues, le géomètre de Wittemberg, mieux que tout autre, savait à quoi s'en tenir. Au surplus, voici le passage entier :

« Christophe et Jérôme Cardan, traitent les deuxièmes racines sous le nom de *quantités* et les représentent

(1) *L'Algebre*, ed. 1609, p. 94; ed. 1554, p. 95.

(2) *Diophanti Alexandrini Rerum Arithmeticarum Libri sex quorum primi duo adiecta habent Scholia, Maximi (ut coniectura est) Planvdis. Item Liber de Nvmeris Polygonis seu Multiangulis. Opus incomparabile, ueræ Arithmeticæ Logisticæ perfectionem continens, paucis adhuc uisum. A Gvil. Xylandro Augustano incredibili labore Latinè redditum, & commentariis explanatum, inq; lucem editum, ad Illustriss. Principem Lvdovicvm Vvirtembergensem.* Basileæ Per Evsebivm Episcopivm, & Nicolai Fr. Hæredes. MDLXXV (Observatoire Royal de Belgique, 27*h*). On connaissait cependant les méthodes de Diophante par les manuscrits.

par *1q*; mais Cardan s'y arrête plus longuement, car Christophe ne dit rien de la combinaison des secondes racines avec les premières. Cardan, au contraire, l'explique dans de beaux exemples qui me l'ont fait comprendre facilement » (1).

Dès 1554, la notation de Christophe et de Cardan était éclipsée par la notation beaucoup plus commode de Stifel lui-même. Peletier adopte avec raison cette dernière : « Les uns pour une seconde racine, mettent une quantité; pour une tierce racine, une seconde quantité. Mais il nous a semblé plus aisé d'user des characteres de Stifel, qui nous sommes servis jusques icy de la plus part de ceux qu'il a mis en son algebre; tant pour la facilité qui en revient, qu'aussi pour monstrer combien benignement nous voulons advouër par qui nous avons faict proffit. Nous mettrons donc avec luy, pour 1 seconde racine, 1A; pour 1 tierce racine, 1B; pour 1 quarte racine, 1C : c'est à dire, 1AR, ou 1 deuxieme R; 1BR, ou 1 tierce R, etc. » (2).

Pour désigner les puissances des « secondes racines », Peletier se sert des signes cossiques ç, ζ, çç (3), etc. placés à la suite des lettres A, B, C. Ainsi 1Aç, 8Bζ, 5Cçç, représentent respectivement A^2, $8B^3$, $5C^4$.

Il n'y a guère de remarques importantes à faire, sur les chapitres 27-29, dans lesquels Peletier donne le calcul des « secondes racines »; mais le chapitre 30 intitulé : « Des exemples appartenans aux operations des racines secondes » est très intéressant. Ces exemples, ou problèmes, sont au nombre de cinq. Je transcris ici le quatrième, parce que Peletier en donne deux solutions, l'une dans le style de Cardan, l'autre dans celui de Stifel. Le lecteur aura ainsi l'occasion de

(1) *Arithmetica Integra*, Lib. III, cap. VI, f° 252 r°.
(2) *Algebre*, ed. 1609, p. 95; ed. 1554, pp. 96 et 97.
(3) Ces signes cossiques sont identiques à ceux donnés dans la planche II, ci-dessus. Nous continuons à substituer le ζ grec au signe cossique du cube.

comparer les avantages et les défauts des deux méthodes. Si Peletier paraît parfois long, il est, en général, parfaitement clair. Il me suffira donc de continuer à traduire, au fur et à mesure, ses opérations en notations modernes, comme je l'ai fait jusqu'ici.

« *Exemple IIII* (1)

» Trois hommes ont chacun un nombre d'escus. Le premier, avec la $\frac{1}{2}$ des deux autres, en a 32 ; le second, avec la $\frac{1}{3}$ partie des deux autres, en a 28 ; le tiers, avec la $\frac{1}{4}$ partie des deux autres, en a 31. Combien en ont-ils chacun ? »

Pour lire ici Cardan, il nous faudra, je l'ai dit au début de ce travail, nous armer de patience. Faisons-en donc provision. N'oublions pas cependant la nouveauté de la méthode, excuse si légitime de la prolixité de l'auteur !

« Le premier a 1R. — x.

» Le second, 1A. — y.

» Le tiers, 31 m. $\frac{\text{1R p. 1A.}}{4}$ (2) — $31 - \frac{1}{4}(x+y)$.

» Et par ce que le premier, en luy donnant la $\frac{1}{2}$ du second et du tiers, aura 32; donc il a 32 m. $\frac{1}{2}$A m. $15\frac{1}{2}$ p. $\frac{\text{1R p. 1A}}{8}$. — $32 - \frac{1}{2}x - 15\frac{1}{2} + \frac{1}{8}(x+y)$.

(1) *Algebre*, ed. 1609, pp. 106-108 ; ed. 1554, pp. 107-110. *De occulta parte numerorum*, f° 31 r° et v°.

Comme Peletier a soin de le dire lui-même, l'énoncé de cet exemple et sa solution sont empruntés à l'*Artis Magnæ sive de regulis algebraicis*, cap. 9, de Cardan. Dans les *Hieronymi Cardani Opera*, t. 4, pp. 241 et 242.

(2) L'auteur n'ose pas mettre dès maintenant pour « le tiers » 1B, ce qu'il fera tantôt. C'est caractéristique dans la méthode de Cardan.

» Il a donc $16\frac{1}{2}$ p. $\frac{1}{8}$R m. $\frac{3}{8}$A,

(car $\frac{1}{2}$A vaut $\frac{4}{8}$A) $\qquad 16\frac{1}{2} + \frac{x}{8} - \frac{3y}{8}$.

» Donc

$16\frac{1}{2}$ p. $\frac{1}{8}$R m. $\frac{3}{8}$A sont egaux à 1R $\qquad 16\frac{1}{2} + \frac{x}{8} - \frac{3y}{8} = x.$

et par transposition

$16\frac{1}{2}$ sont egaux à $\frac{7}{8}$R p. $\frac{3}{8}$A $\qquad 16\frac{1}{2} = \frac{7x}{8} + \frac{3y}{8}$

et par reduction à entiers

7R p. 3A sont egales à 132 $\qquad 7x + 3y = 132$

(sçavoir est : joingnez $\frac{7}{8}$ et $\frac{3}{8}$, ce sont $\frac{10}{8}$; puis joingnez 7 et 3, ce sont 10. Puis par la reigle de 3 : si $\frac{10}{8}$ font $\frac{33}{2}$, 10 feront 132; et se laissent les signes cossiques pour plus facile operation.)

» Maintenant voyons combien en a le second.

» Nous sçavons que si nous luy donnons la $\frac{1}{3}$ partie du premier et du tiers, il en aura 28. Ces tierces parties sont $\frac{1}{3}$R, et $10\frac{1}{3}$ m. $\frac{1R \text{ p. } 1A}{12}$ $\qquad \frac{x}{3}; \; 10\frac{1}{3} - \frac{x+y}{12}$

» Ce sont $10\frac{1}{3}$ p. $\frac{1}{4}$R m. $\frac{1A}{12}$ $\qquad 10\frac{1}{3} + \frac{x}{4} - \frac{y}{12}$

» Ostez tout de 28; restent $17\frac{2}{3}$ p. $\frac{1A}{12}$ m. $\frac{1}{4}$R (ou $\frac{3}{12}$R) et est ce qu'avoit le second.

Et celà sera egal à 1A. $\qquad 17\frac{2}{3} + \frac{y}{12} - \frac{x}{4} = y.$

» Et par deuë reduction

$\frac{11}{12}$A p. $\frac{3}{12}$R seront egales à $17\frac{2}{3}$ $\qquad \frac{11y}{12} + \frac{3x}{12} = 17\frac{2}{3}.$

parquoy

11A p. 3R seront egales à 212 $\qquad 11y + 3x = 212$

(multipliant $17\frac{2}{3}$ par le denominateur 12, comme peu devant en la premiere operation).

» Puis, nous reduirons les deux nombres cossiques à telle valeur, que les racines ou les A racines (1), soyent egales à leurs correspondantes cy devant trouvees. Donç, puis que

3R p. 11A sont egales à 212 $\qquad 3x + 11y = 212$

faisons reduction à 7R (2). Et parce que 7 est en proportion $2\frac{1}{2}$ à 3, augmentons 11 par la mesme proportion, et semblablement 212; en les multipliant par $2\frac{1}{3}$. Lors nous aurons nos

7R p. $25\frac{2}{3}$A egales à $494\frac{2}{3}$. $\qquad 7x + 25\frac{2}{3}y = 494\frac{2}{3}$.

» Nous avons donc, (3)

7R p. 3A egales à 132 $\qquad 7x + 3y = 132$.

et puis

7R p. $25\frac{2}{3}$A egales à $494\frac{2}{3}$ $\qquad 7x + 25\frac{2}{3}y = 494\frac{2}{3}$.

» Donc, comme 7R soyent tant en l'une qu'en l'autre equation, il faut que la difference des nombres soit egale à la difference des AR (4). Partant

$22\frac{2}{3}$A sont egales à $362\frac{2}{3}$. $\qquad 22\frac{2}{3}y = 362\frac{2}{3}$.

» Divisez donc $362\frac{2}{3}$ par $22\frac{2}{3}$, vous aurez 16, la valeur de 1A. Et est ce qu'a le second.

(1) « Les racines ou les A racines », c'est-à-dire les x ou les y.
(2) C'est-à-dire cherchons à donner à R, le coefficient 7.
(3) Répétition inutile, résumant tous les résultats trouvés précédemment.
(4) Les AR, c'est-à-dire les A racines, ou les y.

» Maintenant, mettons pour le tiers, 1B (1).

» Donc, par ce que le second, avec la $\frac{1}{3}$ partie du premier et du tiers a 28, et qu'il a 16, comme nous avons trouvé, il faut que

$\frac{1\text{R p. }1\text{B}}{3}$ soyent egales á 12 $\qquad \frac{1}{3}(x+z)=12.$

comme au surplus de 16 á 28. Parainsi

1R p. 1B seront egales á 36 $\qquad x+z=36.$

» En apres, le premier avec la $\frac{1}{2}$ des deux autres, en doit avoir 32. Ceste $\frac{1}{2}$ est, 8 p. $\frac{1}{2}$B. $\qquad 8+\frac{1}{2}z.$

» Donc

1R p. 8 p. $\frac{1}{2}$B sont egales á 32. $\qquad x+8+\frac{z}{2}=32.$

et par reduction

1R p. $\frac{1}{2}$B seront egales á 24 $\qquad x+\frac{z}{2}=24$

» Pource donc que 1R p. 1B estoyent egales á 36, $(x+z=36)$ la difference de 36 á 24 (laquelle est 12) sera egale á $\frac{1}{2}$B. Partant

1B sera egale á 24. $\qquad z=24$

Et est ce qu'avoit le tiers.

» Parquoy nous congnoissons ce qu'a le premier, parce qu'avec la $\frac{1}{2}$ du second et du tiers (que nous sçavons estre 20) il doit avoir 32 ; il faut donc qu'il ayt 12. Donc, le premier a 12, le second 16, et le tiers 24. »

« En cest exemple, j'ay suyvi de poinct en poinct la

(1) Cardan, qui a représenté la 2e inconnue 1A par 1q, ou plus exactement par 1 *quant.* désigne de nouveau la 3e, par la même notation 1 *quant.* Je reviendrai tantôt sur ce sujet, mais il vaut mieux ne pas interrompre ici la démonstration.

proposition et la disposition de Cardan. En quoy j'ay esté aussi long comme luy et un peu plus clair. »

Peletier s'illusionne !

Il suit effectivement « de poinct en poinct », comme il le dit, la solution de Cardan, et il est long. Mais, ne lui en déplaise, l'algébriste italien est tout aussi clair que lui.

Tout au plus Peletier introduit-il chez Cardan une modification valant la peine d'être notée. Le savant italien n'emploie jamais plus de deux lettres pour désigner les inconnues, le français en a trois. Mais cette troisième lettre est inutile. Au moment où l'auteur commence à s'en servir, la valeur de la troisième inconnue est trouvée. Il pouvait donc parfaitement dire, comme l'eût dit Cardan : « Désignons maintenant par 1A, non plus la part du second, mais celle du troisième ».

A ce propos, je répète une remarque importante du début de mon travail, car elle a été trop peu faite jusqu'ici.

Autre chose était de concevoir simplement l'idée des équations à plusieurs lettres pour désigner les inconnues, autre chose de réussir à les résoudre avec élégance et facilité. Les algébristes du XVI[e] siècle se sont parfois butés à des difficultés élémentaires, qu'on ne soupçonnerait pas. Considérons, par exemple, le système très peu compliqué de quatre équations à quatre inconnues, que nous écririons en notations modernes

$$x + \tfrac{1}{2}y + \tfrac{1}{2}z + \tfrac{1}{2}t = 34$$
$$\tfrac{1}{3}x + y + \tfrac{1}{3}z + \tfrac{1}{3}t = 36$$
$$\tfrac{1}{4}x + \tfrac{1}{4}y + z + \tfrac{1}{4}t = 52$$
$$\tfrac{1}{6}x + \tfrac{1}{6}y + \tfrac{1}{6}z + t = 78$$

Eh bien ! Guillaume Gosselin, dans son *De Arte Magna* (1), parvient le premier, en 1578, à le résoudre

(1) Lib. IV, cap. 2, ff° 82 v°-84 r°. J'ai reproduit cette solution de Gosselin, dans ma notice sur le « *De Arte Magna* » *de Guillaume Gosselin*, pp. 62-64.

d'une manière sûre et méthodique. Le premier il élimine régulièrement les inconnues en ramenant successivement le système donné à des systèmes d'équations à trois, deux et une inconnue. Quant à Butéon qui propose l'exercice, en 1559, dans sa *Logistica* (1), il en essaye la solution de trois manières différentes et trois fois il s'y embrouille complètement. Il y introduit alors la condition tacite que les solutions sont entières. Grâce à cette hypothèse inutile, des tâtonnements le sauvent et il arrive au résultat, par des essais, à la manière d'un exercice d'analyse indéterminée.

Etait-ce un effet de l'influence de Diophante? Peut-être. Mais quoi qu'il en soit, les algébristes du milieu du XVIe siècle étaient souvent hantés par la préoccupation de ne traiter, au plus, que deux inconnues à la fois. C'est la cause de la complication de la solution de Cardan reproduite ci-dessus. Que s'ils ne pouvaient se contenter de deux inconnues, ils croyaient devoir tâcher, au moins, d'exprimer le plus tôt possible la valeur de toutes les inconnues en fonction d'une seule (2). Cette manière d'opérer était passée chez eux à l'état de principe avoué. L'exemple II de Peletier le démontre clairement.

« *Exemple II* (3)

» Quatre hommes ont chascun certaine somme d'escus. Le premier, second et tiers, ont ensemble 149.

(1) Lib. III, pp. 193-196.

(2) La méthode s'impose, quand on n'emploie, comme Diophante, qu'une seule lettre pour désigner les inconnues.

(3) L'*Algebre*, ed. 1609, pp. 102 et 103; ed. 1554, pp. 103-105. *De occulta parte numerorum*, f° 30 r°. Comme Peletier a soin d'en avertir, cet exemple est emprunté à : *Hieronymi C. Cardani Medici Mediolanensis, Practica Arithmetice, et Mensurandi singularis. In qua que preter alias continentur, versa pagina demonstrabit.* — A la fin : Anno a Virgineo partu M.D.XXXIX. Io. Antonius Castellioneus Mediolani Imprimebat Impensis Bernardini Calusci. Cap. 66, N° 98, pp. (HH_{VI}) r° et v°. (Bibl. de l'Observatoire Royal de Belgique, 88*a*). Réédité dans *Hieronymi Cardani Operum*, Tomus 4, p. 169.

(En ceste somme n'est comprise celle du quart, pour laquelle je mets 1R; ainsi la somme de tous sera 149 p. 1R.) Le second, tiers et quart, ont 110. (Icy n'est comprise la somme du premier, pour laquelle je mets 1A; ainsi la somme de tous sera icy 110 p. 1A.) Le tiers, quart et premier, ont ensemble 125. (Icy, pour la somme du second non mentionnee, je mets 1B; et la somme totale sera 125 p. 1B.) Le quart, premier et second, ont ensemble 138. (En quoy est obmise la somme du tiers, pour laquelle je mets 1C; et la somme de tous, sera icy 138 p. 1C.) Quelle est la somme particuliere de tous?

« Premierement, par ce que

149 p. 1R sont egaux à 110 p. 1A, $149 + x = 110 + y$

par soustraction, 1A sera egale à 39 p. 1R $y = 39 + x$

Et est la somme du premier (pour lequel nous avions mis 1A).

» Secondement, par ce que

149 p. 1R sont egaux à 125 p. 1B, $149 + x = 125 + z$

par soustraction, 1B sera egal à 24 p. 1R $z = 24 + x$

Et est la somme du second

» Tiercement, par ce que

149 p. 1R sont egaux à 138 p. 1C $149 + x = 136 + t$

par soustraction, 1C sera egal à 11 p. 1R $t = 11 + x$

Et est la somme du tiers.

» Donc les sommes particulieres seront ainsi :

I.	39 p. 1R	$39 + x$
II.	24 p. 1R	$24 + x$
III.	11 p. 1R	$11 + x$
IIII.	1R	x
	74 p. 4R	$74 + 4x$

» L'addition fait

74 p. 4R qui seront egaux à 149 p. 1R $74+4x=149+x$

et par transposition

3R seront egales à 75 $3x=75$

Partant

1R vaut 25 $x=25$

qui est la somme du quart.

» Adjoutez 25 à 39, ce seront 64, pour le premier. Et par telles additions le second aura 49, et le tiers 36.

» *Icy vous avez veu comment les secondes R ont esté toutes resoluës en la premiere, par equations ; ce qu'il faut tousjours faire en semblables questions, le plus tost qu'on pourra, car par ce moyen on evite les grands circuits et difficultés* ».

Le souci exagéré de se conformer à cette règle était loin de faire toujours « éviter les grands circuits et difficultés ». Bien au contraire, il les accroissait d'ordinaire au point de rendre presque nuls les avantages résultant de l'emploi des lettres multiples pour représenter les inconnues. Plusieurs algébristes du XVI[e] siècle, même parmi les plus illustres, n'en comprirent pas l'utilité. Ainsi, Scheubelius, par exemple, dont l'*Algebre* (1) eut tant de vogue, ne s'en servit jamais. Quant à Gemma Frisius, il les traite de complication superflue (2).

Mais, assez sur ce sujet et venons-en à la deuxième solution de Peletier. Plus simple que celle de Cardan,

(1) J'en ai donné ci-dessus le titre complet.

(2) Voir ma note : *Le Commentaire de Gemma Frisius sur l' « Arithmetica integra » de Stifel*. ANNALES DE LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE, t. XXX, 1[re] partie, Bruxelles, 1906, p. 168 ; ou bien p. 4 du tiré à part.

elle est, nous l'avons dit, inspirée par Stifel (1). Il s'agissait donc du problème suivant :

« Trois hommes ont chacun un nombre d'escus. Le premier, avec la $\frac{1}{2}$ des deux autres, en a 32; le second, avec la $\frac{1}{3}$ partie des deux autres, en a 28; le tiers, avec la $\frac{1}{4}$ partie des deux autres, en a 31. Combien en ont-ils chacun ?

» Le premier a 1R (2) x.
» Le second 1A y.
» Le tiers 1B z.

» Et par ce que le premier, avec la $\frac{1}{2}$ des deux autres, en a 32,

$$1R \text{ p. } \frac{1A \text{ p. } 1B}{2} \text{ seront egales à } 32 \qquad x+\tfrac{1}{2}(y+z)=32$$

Et par reduction et deuë transposition

$$2R \text{ p. } 1A \text{ p. } 1B \text{ sont egales à } 64 \qquad 2x+y+z=64$$

qui sera la premiere equation.

» Secondement, par ce que le second, avec la $\frac{1}{3}$ partie des deux autres, en a 28, ce sont

$$1A \text{ p. } \frac{1R \text{ p. } 1B}{3} \text{ egales à } 28 \qquad y+\tfrac{1}{3}(x+z)=28$$

Et par reduction

$$1R \text{ p. } 1B \text{ p. } 3A, \text{ seront egales à } 84 \qquad x+z+3y=84$$

qui sera la seconde equation.

(1) Je dis à dessein *inspirée* seulement par Stifel, car l'exemple n'est pas traité en termes exprès dans l'*Arithmetica integra ;* mais la méthode suivie cette fois par Peletier est exactement celle du géomètre de Wittemberg, dans tous les cas analogues. Elle a un caractère déjà bien plus moderne que la méthode de Cardan.

(2) L'*Algebre*, ed. 1609, pp. 109-111; ed. 1554, pp. 110-112. *De occulta parte numerorum*, f° 32 r° et v°.

» Pour le tiers (lequel avec la $\frac{1}{4}$ partie des deux autres en a 31) nous aurons

$$1B \text{ p. } \frac{1R \text{ p. } 1A}{4} \text{ egales à } 31 \qquad z + \tfrac{1}{4}(x+y) = 31$$

Et par semblable reduction

$$1R \text{ p. } 1A \text{ p. } 4B \text{ seront egales à } 124 \qquad x+y+4z=124$$

» Voilà nos trois equations principales, lesquelles il faut mesler de telle sorte, que nous trouvons les differences des nombres absolus, respondantes aux nombres cossiques.

» Disposons donc nos trois equations en ceste sorte :

I. 2R p. 1A p. 1B egales à 64 $\qquad 2x + y + z = 64$

II. 1R p. 3A p. 1B egales à 84 $\qquad x + 3y + z = 84$

III. 1R p. 1A p. 4B egales à 124 $\qquad x + y + 4z = 124$

» Adjoustons la seconde et la tierce, ce seront, pour la quatrieme equation,

IIII. 2R p. 4A p. 5B egales à 208 $\qquad 2x + 4y + 5z = 208$

» Donc, en la conferant à la premiere equation, parce que 2R font tant d'une part que d'autre, la difference de 64 à 208 (qui est 144) sera egale avec la difference de 1A p. 1B à 4A p. 5B. Donc, en ostant 1A p. 1B, de 4A p. 5B, nous aurons pour la cinquieme equation

V. 3A p. 4B, egales à 144. $\qquad 3y + 4z = 144$

» Adjoustons la premiere et la seconde, nous aurons pour la sixieme equation

VI. 3R p. 4A p. 2B egales à 148 $\qquad 3x + 4y + 2z = 148$

» Adjoustons la premiere et la tierce, nous aurons pour la septieme equation

VII. 3R p. 2A p. 5B egales à 188. $3x + 2y + 5z = 188$

» Adjoustons ces deux dernieres, nous aurons pour la huictieme equation

VIII. 6R p. 6A p. 7B egales à 336. $6x + 6y + 7z = 336$

» Finalement, multiplions la tierce par 6 (pour faire les racines egales de ces deux dernieres equations) et nous aurons pour la neufieme equation

IX. 6R p. 6A p. 24B egales à 744. $6x + 6y + 24z = 744$

» Maintenant, parce que les deux premiers nombres cossiques de ces deux dernieres equations, sont pareils, la difference des nombres 336 et 744 (laquelle est 408), sera egale à la difference des deux derniers nombres 7B et 24B (laquelle difference est 17B). Partant

17B seront egales à 408 $17z = 408$

et par division

1B sera egale à 24 $z = 24$

Et est ce qu'avoit le tiers.

» Et par ce que, selon la cinquieme equation 3A p. 4B estoyent egales à 144, pour 4B ostons 4 fois 24 de 144, c'est à dire, ostons 96 de 144, resteront

3A egales à 48 $3y = 48$

» Et par division

1A sera egale à 16 $y = 16$

Et est ce qu'avoit le second.

« Et de ces deux, se congnoit ce qu'a le premier. D'autant qu'avec la moitié du second et du tiers, laquelle est 20, il en doit avoir 32. Il faut donc qu'il en ayt 12.

» Ce discours est trop plus facile que l'autre ; mais il fait bon voir deux inventions en mesme intention. »

Terminons cette analyse du Livre I, par un problème du second degré à plusieurs inconnues.

« *Exemple V* (1)

» Il y a deux nombres, lesquels soustraicts de leurs quarrés, laissent 48 ; et adjoustés au produit de la multiplication des deux l'un par l'autre, font 31. Qui sont ces deux nombres ? »

Très curieuse la solution de Peletier, mais derechef combien longue ! Je ne puis cette fois songer à la transcrire ici.

L'auteur y est, dès l'abord, arrêté par des difficultés naïvement simples, et imagine pour les résoudre des artifices aussi ingénieux qu'inutiles. Cherchant à mettre le problème en équation, il se répand en interminables dissertations géométriques. Après quoi il fait cette réflexion à laquelle il eût dû songer dès le commencement : « Il faut estre advisé d'exprimer par nombres ce que nous pourrons ; car les nombres absolus exprimés sont ceux qui aident à descouvrir les nombres cachés (2). » En d'autres termes, il faut tâcher d'exprimer les données et les inconnues du problème, par des équations algébriques.

Malgré sa bonne volonté, Peletier n'y réussit que très imparfaitement. Ses raisonnements entortillés ne

(1) *L'Algebre*, ed. 1609, pp. 112-116 ; ed. 1554, pp. 113-117. *De occulta parte numerorum*, ff° 32 v° - 33 v°.

(2) *L'Algebre*, ed. 1609, p. 114 ; ed. 1554, p. 115. *De occulta parte numerorum*, f° 33 r°.

tiennent pas moins de quatre pages entières. Ils auraient pu se résumer en quatre lignes; car ils se réduisent à dire :

Des équations du problème

$$x^2 + y^2 - (x+y) = 48$$
$$xy + (x+y) = 31$$

les *Éléments* d'Euclide permettent de déduire

$$(x+y)^2 = 110 - (x+y)$$

d'où on tire

$$x + y = 10$$

Cette somme si péniblement enfin trouvée, le reste de la solution s'achève facilement.

« Cette question est belle, dit Peletier, d'autant qu'au discours se recordent plusieurs beaux theoremes. Elle est de Stifel (1), mais les nombres sont changés. »

VI

Si le second livre mérite encore l'attention de l'historien des mathématiques, il est cependant moins de nature à intéresser autant la majorité des lecteurs. Dès l'origine, il ne fut pas apprécié à sa valeur. Gosselin (2) le déclarait déjà plein d'obscurité et d'inutilités. Que l'auteur ne soit pas toujours parfaitement clair, je n'y contredirai pas; mais le reproche d'inutilité est injuste.

Ce deuxième livre n'est, somme toute, qu'un commentaire du dixième livre des *Éléments* d'Euclide. Le dixième livre d'Euclide a pour objet les nombres incommensurables et la théorie approfondie des radicaux. Or

(1) *Arithmetica integra*, lib. III, cap. VI, ffº 254 vº-255 vº.
(2) *De Arte Magna*, lib. 2, cap. 10, fº 47 vº.

au moment où Peletier écrit, le calcul du rapport de la circonférence au diamètre et la construction des tables de lignes trigonométriques sont deux des problèmes qui occupent le plus les géomètres. La théorie des séries n'est pas encore imaginée et des extractions de racines permettent seules de les résoudre. Toute simplification apportée au calcul des radicaux paraît donc importante; toute méthode propre à transformer les radicaux superposés en somme ou différence de radicaux simples est soigneusement notée. L'attention donnée par Peletier au dixième livre d'Euclide s'explique parfaitement.

Mais nous ne sommes plus au temps de Peletier. Les vieilles méthodes du dixième livre d'Euclide, bien à tort, n'intéressent plus guère. Les définitions, les titres des chapitres, l'indication sommaire de quelques-uns des problèmes les moins oubliés, suffiront donc pour faire connaître le deuxième livre de l'*Algebre* de Peletier.

Chez l'auteur une racine carrée se nomme *medial*.

Quand cette racine est isolée, le medial est *simple;* quand elle est ajoutée ou retranchée, soit à un autre médial, soit à un nombre rationnel, on obtient un binôme qui se nomme un *irrational*.

Si les deux termes d'un irrational sont séparés par le signe plus, il est *composé;* s'ils sont séparés par le signe moins, il est *commecomposé*. Ces deux mots reviennent ici, comme toujours, avec le même sens.

Bien des fois deux irrationaux ne diffèrent que par les signes d'un de leurs termes. Dans ce cas, l'irrational commecomposé est dit le *résidu* ou le *récis* de l'irrational composé.

On peut être conduit à devoir extraire la racine d'un irrational composé ou commecomposé, on obtient ainsi une *racine universelle* ou *liée*. En d'autres termes, les racines *liées* sont des polynômes renfermant des radicaux superposés.

Les irrationaux composés et comme composés transformables en une somme ou une différence de deux radicaux simples sont dits *quarrés;* dans le cas contraire ils sont dits *racines sourdes*.

Ces mots définis, les titres des chapitres indiquent suffisamment la nature des sujets qui y sont traités.

« Chap. 1. — Des nombres irrationaux en general.
» 2. — De la nature des nombres irrationaux et s'ils sont vrais nombres ou feincts.
» 3. — Des especes principales des nombres irrationaux (c'est à dire, des irrationaux composés ou commecomposés).
» 4. — Des especes des binomes et residus.
» 5. — Des especes moins principales des nombres irrationaux (Il s'agit des polynômes formés par additions ou soustractions de radicaux d'indices différents).
» 6. — De la reduction des radicaux à mesme signe (Le signe est ici l'indice du radical).
» 7. — De la congnoissance de deux mediaux, s'ils sont commensurables ou non et en quelle proportion ils le sont.
» 8. — De trouver deux nombres mediaux en telle proportion que voudrez.
» 9. — L'addition des mediaux.
» 10. — La soustraction des mediaux.
» 11. — La multiplication et division des mediaux.
» 12. — De l'invention des milieux proportionaux entre deux nombres donnés, par le moyen des nombres mediaux.
» 13. — De l'algoritme des nombres irrationaux composés et commecomposés. Et premier de l'addition et soustraction.

» Chap. 14. — De la multiplication.
» 15. — De la division.
» 16. — Des binomes et residus et de leur compendieux algoritme (Ces calculs, soi-disant compendieux ou abrégés, ont peu d'utilité).
» 17. — De l'extraction des racines des binomes et residus. Et premier de cognoistre s'ils sont quarrés ou non.
» 18. — Des sourdes racines des binomes et des residus, et incidemment des racines qu'on appelle liees et des racines distinctes et de la difference d'entre elles (Les racines distinctes sont les irrationnelles composées et commecomposées).
» 19. — L'addition et soustraction des racines sourdes.
» 20. — La multiplication et division.
» 21. — De l'extraction des racines sourdes que les uns appellent resolution (Peletier y donne les formules de transformation des radicaux superposés en somme ou en différence de radicaux simples).
» 22. — Des fractions irrationales et de leur algoritme.
» 23. — Des operations des trinomes (Chapitre important, sur lequel je reviendrai).
» 24. — De la multiplication cubique des nombres irrationaux et principalement de celle des racines sourdes ou universelles cubiques.
» 25. — Des nombres cossiques irrationaux (dans lesquels l'inconnue se trouve sous le signe du radical).

» Chap. 26. — De la reduction des nombres cossiques irrationaux.
» 27. — De l'algoritme des nombres cossiques irrationaux.
» 28. — Des exemples appartenans aux nombres irrationaux cy devant traictés.
» 29. — De l'invention de diverses quantités continues par le moyen de l'algebre (Dans ce dernier chapitre il s'agit du calcul des divers éléments des polygones réguliers en fonction du rayon du cercle circonscrit).

Revenons un instant au chapitre 23 : « Des operations des trinomes. »

Pour diviser un nombre par un binôme irrationnel du second degré, il convient de rendre d'abord le diviseur rationnel. Le procédé était connu et Peletier le donne. Il suffit de multiplier le dividende et le diviseur par l'expression conjuguée à celle du diviseur.

Mais maintenant il va plus loin et étend même le procédé au trinôme (1).

« Afin que nostre traicté des nombres irrationaux soit plus entier quant aux algoritmes, nous mettrons icy la prattique de la division des trinomes, par laquelle se pourra entendre le surplus qui seroit à dire des autres especes, comme des quadrinomes et autres; lesquels, pour la plus part, sont irreguliers et ne tombent point en usage, sinon qu'ils soyent reduits.

(1) *Algebre*, ed. 1609, pp. 176-179; ed. 1554, pp. 183-186. *De occulta parte numerorum*, ff° 48 v°-49 v°. — M. Eneström a signalé dans la BIBLIOTHECA MATHEMATICA (*Kleine Mitteilungen*, 3e sér. t. VI, 1905, p. 402) tout l'intérêt de ce chapitre. Je crois, avec le savant suédois, que Peletier a découvert le procédé, indépendamment de la *Summa* de Pacivolo. Celle-ci est écrite en italien et Peletier connaissait mal les langues étrangères. De plus, il indique toujours si consciencieusement ses sources, qu'on ne voit pas pourquoi il aurait omis ici de le faire.

« La prattique.

« Faut multiplier le dividende et le diviseur, par le recis du diviseur. Sçavoir est : multipliez premierement le diviseur par son recis et proviendra un binome; multipliez ce binome par son recis, proviendra un nombre rational, ou commerational, qui sera nouveau diviseur. Semblablement par le récis du trinome multipliez le dividende. Le produit divisez par vostre nouveau diviseur.

« Enfin, multipliez ce quotient par le recis du binome; le produit sera le quotient que vous cherchez. »

Traduisons cette règle en langage moderne. Soit

$$\frac{N}{\sqrt{a}+\sqrt{b}+\sqrt{c}}$$

la fraction donnée. Pour en rendre le dénominateur rationnel, on lui fera subir les transformations suivantes :

$$\frac{N}{\sqrt{a}+\sqrt{b}+\sqrt{c}}=\frac{N(\sqrt{a}+\sqrt{b}-\sqrt{c})}{(a+b-c)+2\sqrt{ab}}=\frac{N(\sqrt{a}+\sqrt{b}-\sqrt{c})[(a+b-c)-2\sqrt{ab}]}{(a+b-c)^2-4ab}$$

Peletier applique sa règle à la fraction

$$\frac{100}{3+\sqrt{9}+\sqrt{16}}$$

« Et est un diviseur rational, dit-il, à ce que la preuve de l'operation soit plus evidente. Nous sçavons qu'il doit provenir 10 au quotient, ce qui se deduira ainsi (1). »

(1) L'*Algebre*, ed. 1609, p. 177; ed. 1554, p. 184.

Suivent les transformations que l'on peut exprimer par la série d'égalités :

$$\frac{100}{3+\sqrt{9}+\sqrt{16}} = \frac{100\,(3+\sqrt{9}-\sqrt{16})}{\sqrt{324}+2} = \frac{100(3+\sqrt{9}-\sqrt{16})\,(\sqrt{324}-2)}{320}$$

Tout calcul fait, Peletier trouve pour quotient 10.

Il avait choisi les nombres de manière à prévoir le résultat à priori (1).

Les éditions françaises de l'*Algebre* se terminent avec le second livre, mais le *De occulta parte numerorum* contient en outre une postface écrite sous forme de lettre adressée à un certain Séraphin Razallius, jurisconsulte (2).

Ce n'est qu'une aigre récrimination contre le traité *De Quadratura circuli* de Butéon (3).

Dans son édition des six premiers livres des *Éléments* d'Euclide (4), Peletier s'était permis, on le sait, de changer plusieurs des définitions et des démonstrations du géomètre grec, pour y substituer les siennes propres. Jeu de tout temps dangereux, qui devait mal finir pour

(1) C'est l'occasion de dire en passant que les démonstrations de Peletier sont rarement algébriques et ses preuves presque toujours appuyées sur les *Éléments* d'Euclide. En fait de démonstrations algébriques, il se contente la plupart du temps, comme ici, de faire voir, par un exemple numérique, que la règle énoncée est correcte.

(2) Ff°. Rr° — Riij r°.

(3) *Ioan. Bvteonis de Qvadratvra circuli Libri duo, vbi multorum quadraturæ confutantur, et ab omnium impugnatione defenditur Archimedes. Eivsdem Annotationum opuscula in errores Campani, Zamberti, Orontij, Peletarij, Io. Penæ interpretum Euclidis.* Lvgdvni Apvd Gvlielmvm Rovillivm, sub Scvto Veneto. M.D.LIX. Cum Priuilegio Regis (Bibl. Royale de Belgique, V. H. 8724).

Voir toute la section intitulée : « Io. Buteonis annotationum liber in errores Campani, Lamberti, Orontij, Peletarij, Io. Penæ interpretum Euclidis » pp. 207 sq.

(4) *Iacobi Peletarii Cenomani, In Euclidis Elementa Geometrica Demonstrationum Libri Sex. Ad Carolum Lotharingum, Principem, Cardinalemq : amplissimum.* Lvgdvni. Apvd Ioan. Tornæsivm et Gvl. Gazeivm. M.D.LVII (Univ. de Louvain, Scienc. 41).

lui comme pour tant d'autres. Butéon le lui reproche, et de ce ton malicieux et mordant, dont il était coutumier, il se moque non seulement de la logique de Peletier, mais encore de son style. Notre auteur se piquait de littérature; aussi cette dernière critique lui est particulièrement désagréable et il s'en plaint avec vivacité (1).

Mais je n'ai point à examiner ici le fond de cette querelle. La postface du *De occulta parte numerorum* est un hors-d'œuvre, dont il me suffit d'avoir signalé l'existence.

VII

Portons maintenant, en guise de conclusion, un jugement d'ensemble sur l'*Algebre* de Peletier.

Et tout d'abord, pour être équitables, remettons-la dans son cadre.

L'auteur écrit au XVI[e] siècle, à une époque où les publications des géomètres les plus illustres sont peu connues en dehors de leur patrie et n'ont pas l'influence internationale d'aujourd'hui. Le progrès de la science en ressent le contre-coup. C'est ainsi que, très avancée déjà chez les Italiens et les Allemands, la théorie des équations retarde beaucoup plus en France.

Peletier n'est pas un polyglotte. Il connaît Adam Riese et Christophe Rudolff de Jauer, mais ne les a pas lus (2); car ces deux Allemands ont écrit l'algèbre dans leur langue et Peletier n'entend pas l'allemand (3).

Il n'entend pas davantage l'italien. S'il nomme « frère Lucas Pacciole Florentin », c'est uniquement pour

(1) La Bibliothèque Nationale à Paris possède une petite plaquette intitulée : *Joannis Buteonis Apologia adversus Epistolam Jacobi Peletarii depravatoris Elementorum Euclidis*... Lugduni, Apud M. Jovium, 1562.

(2) L'*Algebre*, ed. 1609, p. 2; ed. 1554, p. 2.

(3) Il le dit en termes exprès dans son *Arithmetique*, ed. 1607, liv. IV, ch. 7, p. 269.

nous apprendre qu'il a « mis l'algebre en son vulgaire » (1). Il n'a pas lu, pour cela, la *Summa* de Pacivolo.

En revanche Cardan et Stifel, qui écrivent en latin, lui sont familiers.

Dans leurs travaux il a surtout remarqué l'emploi, alors tout nouveau, des lettres multiples pour représenter les inconnues. Il en comprend l'utilité et s'efforce de la faire apprécier par ses compatriotes. Le mérite n'était pas banal et n'en jugeons pas avec nos idées actuelles, rectifiées par une expérience de plus de trois siècles. Comparons plutôt Peletier à ses contemporains, à Scheubelius, à Gemma Frisius, à des maîtres qui, malgré leur perspicacité, font fi de la découverte.

L'*Algebre* de Peletier contient, en outre, le premier germe de la théorie de la recherche des racines commensurables des équations. Page originale celle-ci, et qui place l'auteur bien loin au-dessus des simples vulgarisateurs de talent.

Ce serait néanmoins être en dehors de la vérité que de faire pour cela de Peletier l'égal d'un Cardan ou d'un Stifel.

Il n'en est pas là.

Mais l'Algèbre n'atteint pas non plus, en France, la hauteur à laquelle elle est alors parvenue en Italie et en Allemagne. Avec Butéon, avec Gosselin, Peletier du Mans tient le premier rang parmi ceux qui cultivent cette science dans sa patrie. Cela suffit, comme l'a si bien dit M. Eneström (2), pour qu'il ne soit plus permis de passer son nom complètement sous silence dans l'Histoire de l'Algèbre.

H. Bosmans, S. J.

(1) L'*Algebre*, ed. 1609, p. 2; ed. 1554, p. 2.
(2) *Kleine Mitteilungen*. Bibliotheca Mathematica, 3e sér., t. VI, p. 402.

ONTOGÉNÈSE ET PHYLOGÉNÈSE

Tout récemment (novembre 1906) parut la trentième et dernière livraison du grand *Handbuch* d'embryologie des vertébrés publié sous la direction d'Oskar Hertwig (1). L'éminent professeur berlinois y reproduit, sous une forme plus nette que précédemment, un ensemble de considérations, que déjà il avait émises ailleurs (2), sur les rapports entre l'Anatomie comparée et l'Embryologie comparée. Il ne sera pas sans profit, croyons-nous, de nous attarder un peu à ce chapitre, d'intérêt très général (3).

En effet, la nécessité s'impose de reviser de temps à autre quelques-uns de ces concepts scientifiques fondamentaux que la vulgarisation a prématurément introduits dans la grande circulation intellectuelle de notre époque. Dans beaucoup d'esprits, même excellents, ces concepts se trouvèrent viciés dès leur éclosion; ailleurs l'usage ou l'abus en ont faussé la véritable perspective; puis, en tous cas, fussent-ils restés inaltérés, le mouvement progressif de la connaissance expérimentale imposerait encore leur mise au point périodique.

(1) *Handbuch der vergleichenden und experimentellen Entwickelungslehre der Wirbeltiere*. Herausgegeben von Dr Oskar Hertwig, o. ö, Prof., Direktor d. anatom.-biolog. Instituts in Berlin. 6 vol. publiés en 30 livraisons, de 1901 à 1906. — Jena, Fischer.

(2) Prof. Dr O. Hertwig, *Die Zelle und die Gewebe*. IIes Buch, 19e Kapitel. Jena, Fischer, 1898.

(3) *Handbuch*, usw... 30e Lieferung (Bd. III. Teil 3. Kap. X), 1906.

Dans ce travail de revision, nous ne pourrions souhaiter guide plus éclairé que le Pr O. Hertwig. Sa pensée, alors même que nous nous en écartons, nous paraît être judicieuse et ferme. On nous permettra donc de nous inspirer — très librement d'ailleurs — du chapitre de méthodologie qu'il vient d'écrire.

PREMIÈRE PARTIE

I

Chacun sait, au moins vaguement, quel est l'objet de l'Anatomie comparée.

Le monde animal — ou, d'une manière plus générale, le monde organique — offre à l'observation une richesse incomparable de formes qui se répètent, plus ou moins identiques, à l'intérieur de certains groupements appelés *espèces*. Admettons, telle quelle, la détermination des *espèces* proposée par les traités de systématique zoologique et botanique.

Un traité de ce genre pourrait, à la rigueur, n'être qu'une simple nomenclature de types spécifiques, dans laquelle un mode quelconque de groupement — alphabétique, par exemple — aurait créé un ordre tout artificiel.

L'anatomie comparée naquit le jour où un observateur s'avisa de mettre en regard diverses formes spécifiques pour en dégager les traits communs. L'étude des similitudes d'organisation date de la plus haute antiquité, et ici, comme en d'autres domaines, on ne manque pas de rencontrer à bonne place la science encyclopédique d'un Aristote. Parmi les essais de classification « objective », celui d'Aristote est le premier qui mérite une mention sérieuse. Pourtant cette classification, destinée pour de longs siècles à

faire la base de l'*histoire naturelle des animaux*, était fort rudimentaire encore : l'idée de *ressemblance anatomique*, sur laquelle elle se fondait, bien qu'elle contînt en germe la plupart de nos concepts morphologiques actuels, devait, pour approcher de sa pleine valeur, se préciser de plus en plus, dans les temps modernes, sous l'effet convergent d'observations accumulées et d'ingénieuses théories. Nous n'avons pas à esquisser ici les grands traits de ce développement : il nous suffira de saisir, dans la méthode contemporaine de l'Anatomie comparée, les nuances spéciales que revêt l'antique et inévitable notion de la ressemblance morphologique.

Le concept d'*homologie* est la clef de voûte de l'Anatomie comparée; si bien qu'on pourrait définir celle-ci « la science des homologies organiques ».

Qu'est-ce que l'homologie? La notion non plus que le vocable ne sont d'invention récente; ce qui nous importe uniquement ici, nous le répétons, c'est d'en extraire le *contenu actuel*.

Or, ce contenu est complexe et, somme toute, moins déterminé qu'on ne pourrait le croire.

« L'anatomiste, écrit Osk. Hertwig, appelle *homologues* entre eux des organes qui se correspondent, jusqu'à un certain point, par leur structure et leurs liaisons, par leur situation, leur distribution et leurs rapports avec des organes voisins, et qui, par là, ont en général même emploi ou même fonction organique. » Cette définition, sans précisions ultérieures, répond à peu près au point de vue des anciens classificateurs; pour flottante qu'elle soit, elle est fondamentale et mérite un moment d'examen.

Qu'on veuille bien se remettre en mémoire un exemple classique d'homologie évidente : telle l'homologie du membre antérieur des vertébrés supérieurs,

c'est-à-dire des batraciens, des reptiles, des oiseaux et des mammifères. Pattes antérieures de la grenouille, de la tortue ou de l'alligator, ailes de la mouette ou de la poule domestique, ailes membraneuses de la chauve-souris, bras de l'homme ne sont certes pas identiques de tous points; cependant ces membres, d'apparence diverse, possèdent dans leur structure osseuse certaines similitudes qui permettent de les ramener à un type unique. Oh! sans doute, ce type est une abstraction, qui ne se trouve réalisée nulle part dans toute sa pureté; si le segment basal, l'humérus, n'est que peu modifié d'un sous-embranchement à l'autre, il n'en est plus de même des deux pièces du segment moyen (radius et cubitus) : leur soudure ou la régression du cubitus viennent perturber le schéma typique chez les batraciens et certains mammifères; et ce schéma est plus maltraité encore dans le segment distal, où la variation des carpals et des métacarpals prend une amplitude très remarquable. Pourtant, malgré ces divergences et abstraction faite même de considérations subsidiaires que nous signalerons plus loin, le simple examen attentif du squelette des membres antérieurs des vertébrés en question, impose l'idée d'un plan unique réalisé sous des modalités diverses.

Cet exemple banal permet déjà de préciser certains éléments de l'homologie (1).

Tout d'abord, celle-ci n'est pas un rapport d'identité absolue : on ne dira pas que le bras de Pierre soit homologue du bras de Paul. L'homologie implique la *réalisation de certains caractères communs,* sans doute, mais toujours *sous des modalités diverses.*

(1) L'homologie dont il est ici question est l'homologie au sens strict, celle que Gegenbaur appelle « specielle Homologie ». Nous n'avons pas à nous occuper dans ce travail des « allgemeine Homologie » (homotypie, homodynamie, homonomie), du même auteur. Cf. C. Gegenbaur. *Grundr. d. vergl. Anat.*, 2e Aufl., Leipzig, 1878, pp. 66 sqq.

Il s'ensuit une conséquence assez grave : c'est que l'homologie, à côté d'un *élément objectif* inclut toujours un *élément subjectif*. Qu'elle implique un élément objectif, personne ne le contestera; car au fond de toute homologie gît un ensemble de données expérimentales et l'opération logique qui la fonde sera toujours par quelque côté une *abstraction d'un certain nombre de caractères constatables*, communs à un certain nombre d'objets. Mais ici s'introduit l'élément subjectif — nous ne disons pas : l'arbitraire. Le type abstrait qui sert de patron, de commune mesure, aux objets dont on a décrété l'homologie, peut, dans plusieurs de ses parties, ne répondre exactement à aucune particularité actuellement existante. Tel serait à peu près le cas du schéma typique de distribution des os du carpe chez les vertébrés supérieurs : il n'est plus ou moins réalisé que chez certaines tortues. Si l'on désire un exemple plus adéquat, on en trouvera sans peine dans les travaux d'anatomie comparée; la théorie de l'arc viscéral de la tête chez les vertébrés est topique à ce point de vue. On sait que des restes plus ou moins transformés des arcs viscéraux céphaliques persistent chez tous les vertébrés adultes. Le problème de la valeur morphologique de chacun de ces restes se pose dès lors : comment imaginer le type initial, non modifié, d'où l'on pourra faire dériver, par transformations plus ou moins profondes, tous les aspects réellement observés? On conçoit que, de la détermination de ce type, dépendra le détail des homologies attribuées aux différentes pièces du squelette viscéral céphalique. Or le type proposé par l'illustre anatomiste Gegenbaur est doté, en avant des arcs branchiaux, de deux arcs seulement : l'arc palato-mandibulaire et l'arc hyal; par contre, le type que patronne un autre anatomiste de valeur, Albrecht, possède trois arcs céphaliques : le palatin, le mandi-

bulaire et l'hyoïde. On voit qu'ici l'homologie n'est pas fondée sur la simple abstraction d'un certain nombre de caractères communs, mais encore, en partie du moins, sur des préférences subjectives d'interprétation.

En général pourtant, les divers caractères constitutifs du schéma sont empruntés chacun à l'observation directe de particularités anatomiques correspondantes : isolément ils possèdent donc une certaine objectivité; mais que vaut leur groupement? Que vaut le schéma lui-même? Serait-il une simple fiction logique imaginée pour la commodité d'un classement?

C'est ici, en effet, que l'élément subjectif de l'homologie s'accentue, surtout pour qui se borne à l'observation statique des organismes. Le *donné* sur lequel opèrent nos abstractions d'anatomistes n'est pas absolument indépendant de notre choix : nous pouvons l'étendre ou le restreindre jusqu'à un certain point, y faire rentrer tel groupe d'êtres ou l'en exclure. D'autre part, le nombre et la nature des caractères significatifs qui définiront telle homologie restent aussi subordonnés partiellement à notre choix : nous pouvons en exiger plus ou moins, adopter ceux-ci ou ceux-là de préférence à d'autres. Au fond, entre certaines limites, des raisons indépendantes de l'observation directe nous amèneront à décréter ou à refuser l'homologie entre tel organe appartenant à tel groupe animal et un organe similaire appartenant à un autre groupe. La seule abstraction logique de caractères communs laisserait donc au morphologiste, dans le domaine des homologies, un très élastique droit de placet ou de *veto*.

Un exemple ou deux pourront aider à concréter notre pensée.

Soit l'homologie du *membre antérieur*, dont il fut question ci-dessus. Elle est très claire chez les vertébrés supérieurs : le type fondamental du membre s'y

dégage nettement. Mais descendons au sous-embranchement des poissons et demandons-nous si leurs nageoires ne seraient pas homologues de la patte de batracien ou de l'aile de l'oiseau? Certes, à première vue le rapport n'apparaît pas bien évident. « Autant il est facile, écrit Wiedersheim, de ramener le squelette de la nageoire des principaux groupes de poissons à un type fondamental, autant il paraît difficile d'y rattacher les membres des amphibiens. Il semble exister entre eux un abîme profond déterminé par la différence des conditions d'existence, et nous aurons à nous poser la question de savoir comment le membre d'un vertébré respirant dans l'air et destiné à se mouvoir sur la terre a pu dériver de la nageoire qui est adaptée à un milieu liquide. Pour résoudre cette question, les découvertes paléontologiques ne nous fournissent aucun point de repère, c'est-à-dire aucune forme intermédiaire, de sorte que force nous est de nous tourner vers des explications d'un autre ordre, et d'avoir recours aux hypothèses (1) ». Or, les hypothèses très ingénieuses de Gegenbaur et de Wiedersheim, d'abord ne s'imposent aucunement et peuvent même paraître un peu forcées, puis, en tous cas, ne rangent les nageoires de poissons et les membres des vertébrés supérieurs sous une même homologie qu'au prix d'une transformation notable du schéma fondamental; au point de vue de l'observation statique, on pourrait indifféremment accepter ou repousser cette extension d'homologie; nous verrons tantôt si des considérations d'un autre ordre ne permettent pas de réduire ou même de supprimer l'aléa.

Autre exemple. Il est universellement admis aujourd'hui que le stade *gastrula* est une des étapes inévi-

(1) R. Wiedersheim, *Manuel d'Anatomie comparée des Vertébrés*. Traduction de G. Moquin-Tandon. Paris, 1890, p. 110.

tables du développement de l'embryon animal. En conséquence il convient de retrouver dans toute embryogénèse animale soit une gastrula typique, soit du moins son homologue. Tant qu'on ne s'adresse qu'à certains types complaisants, comme les polypes, les échinodermes, beaucoup de vermidiens, ou à des individus privilégiés comme Sagitta ou Amphioxus, tout est à souhait : la gastrula est plus ou moins ouverte, plus ou moins symétrique, mais toujours nettement caractérisée ; son origine est évidente : c'est une forme d'invagination d'une coeloblastula ; ses diverses parties : double feuillet, blastopore, cavité archentérique se laissent reconnaître sans la moindre difficulté. Fort bien, mais passons maintenant aux groupes animaux possédant un œuf méroblastique à deutoplasme abondant, tels les sélaciens, les oiseaux, les reptiles et autres. Un profane pourrait parcourir vingt fois tous les stades du développement de l'œuf de poule, par exemple, sans rencontrer la moindre apparence de gastrula : il fallut toute l'ingéniosité de Mathias Duval pour y découvrir ce stade ou plutôt son homologue. Rien qui rappelle, même de loin, cette forme de cloche plus ou moins épanouie que présente la gastrula typique ; mais, à un stade fugitif du premier développement, couché sur le pôle animal de l'œuf, un feuillet double recouvrant une étroite cavité sous-jacente, laquelle communique avec l'extérieur par une ouverture laissée libre en un endroit où la lèvre du feuillet double n'est point adhérente au reste de l'œuf. Voilà l'homologue du stade « gastrula » : une cavité limitée par un feuillet double et s'ouvrant par une ouverture blastoporique : qu'exigerait-on de plus ? On ramènera à ces éléments, à moins encore au besoin, les notes *essentielles* de la gastrula, si ces réductions sont nécessaires pour la retrouver dans tous les embryons. Mais que devient la forme caractéristique qui valut son nom à la gastrula ? Rassu-

rez-vous : le stade gastrulien, chez la poule, ne représente qu'un *fragment* de gastrula : celle-ci se complètera plus tard ; malheureusement, dans l'intervalle, le premier fragment se sera notablement modifié, et le blastopore, complètement fermé, ne subsistera plus que virtuellement en tête de la « ligne primitive » : à aucun moment ne se présentera une gastrula complète. De plus, le mode de formation du stade gastrula chez la poule n'offre qu'une analogie lointaine avec le processus d'invagination de la gastrula d'Amphioxus, par exemple.

On voit donc qu'*une certaine élaboration mentale* — justifiée ou non — peut intervenir très largement dans la détermination du minimum de caractères qui suffisent encore à faire rentrer une forme quelconque sous le type abstrait de l'homologie. Du reste, l'identification précise du stade gastrulien chez certains animaux, comme les mammifères, demeure sujette à controverses : et vraiment, l'on ne s'en douterait pas à voir s'étaler, dans plusieurs manuels d'enseignement secondaire, en tête d'un chapitre d'embryologie humaine, le schéma le plus épuré du développement de l'Amphioxus : au moins conviendrait-il d'avertir, qu'appliqué à l'ensemble de l'embryologie animale, ce n'est là qu'un schéma parfaitement abstrait.

Ce premier groupe de considérations pourrait *se résumer* comme suit. L'homologie, envisagée comme un système de rapports abstraits réalisés diversement dans les divers objets homologues possède *au moins* la valeur objective d'une abstraction logique quelconque opérée sur une base dont le plus ou moins d'ampleur serait laissé à l'arbitraire. D'autre part, l'homologie est subjective, en ce sens que le morphologiste, qui la définit, opère un double choix : choix d'un certain nombre de sujets, auxquels il veut étendre ou restreindre telle homologie ; choix corrélatif d'un certain nombre de caractères qui suffiront à la spécifier.

Supposé que tout se bornât là, l'homologie serait certes un précieux moyen de groupement, une satisfaction accordée à notre besoin psychologique d'unité, mais elle n'en resterait pas moins une conception assez arbitraire. Nous devons examiner maintenant les moyens employés aujourd'hui pour réduire cette part d'arbitraire, pour discipliner l'homologie et en *éliminer autant que possible l'élément subjectif*.

II

Le grand moyen d'éliminer la part subjective de l'homologie est l'introduction, à côté du point de vue statique, d'un *point de vue dynamique* — ou plus exactement d'un *point de vue génétique*. Expliquons-nous.

L'homologie, telle que nous l'avons considérée jusqu'à présent, n'impliquait autre chose que la réalisation, sous des modalités diverses, d'un même type commun abstrait. Transformons par la pensée le type abstrait en *une forme concrète et réelle*, qui se modifie dans le temps et qui, d'après les influences subies, donne naissance physiquement à telles et telles formes dérivées : nous aurons investi notre homologie de caractères *expérimentalement vérifiables*. On saisit la portée de cette transposition; car elle fournit immédiatement une règle d'or pour la détermination des types d'homologie : on choisira le type fondamental *de telle façon* que les modalités, sous lesquelles il se réalise, *doivent* ou *puissent* être considérées comme une simple résultante de l'influence physique qu'il aurait subie de la part de circonstances diverses. Règle d'or, oui, mais d'un maniement combien délicat!

Assurément, chaque fois que les étapes successives d'une transformation se laissent observer, l'homologie

du point de départ, des intermédiaires et de l'aboutissant se trouve pleinement garantie. Je sais qu'une étamine de nénuphar est une feuille transformée; je sais pareillement qu'un pétale de rose doit origine à une étamine modifiée par la culture, qu'une vrille peut dériver d'une feuille ou d'un rameau. Dans les limites de l'observation, aucune place ne reste à l'arbitraire. Mais combien de fois la variation tombera-t-elle sous l'observation directe ou l'expérimentation? Rarement certes.

Pourtant, la règle formulée plus haut n'en devient pas inutile. Si l'expérience démontre rarement d'une manière convaincante la réalisation pour ainsi dire physique d'une homologie, du moins peut-elle souvent en suggérer les *conditions de possibilité*.

Nous rejoignons ici, pour un instant, la pensée du Pr Hertwig : « A la forme relativement simple, qu'il a placée en tête de la série des aspects divers d'un organe, l'anatomiste attribue le caractère de *forme fondamentale* ou *forme primitive (Grund-oder Urform)*. De celle-ci il fait dériver toutes les autres par transformation, développement ou, éventuellement, par régression, grâce à l'intervention supposée de circonstances nouvelles (1). » Un exemple. Si l'on compare les différents états du squelette axial chez les vertébrés, on pourra considérer comme forme primitive le « squelette membraneux » (chorde dorsale et enveloppe squelettogène) d'Amphioxus et des Cyclostomes, puis y rattacher comme formes secondaires, le « squelette cartilagineux », déjà plus résistant, des sélaciens et enfin le « squelette osseux » des vertébrés supérieurs. « Comme, d'ailleurs, ces trois états du squelette axial se trouvent reliés par de nombreuses formes de transition, rien de plus aisé que de les rattacher l'un à l'autre par la pensée, et ainsi de donner, en quelque façon, à une série

(1) *Handbuch*, usw. l. c., p. 153.

artificielle d'organes homologues l'apparence d'une série génétique (1) ». Et remarquons bien que cette opération de l'anatomiste n'est point un simple jeu d'esprit : sans doute, l'affirmation même d'un rapport génétique entre les trois grands états du squelette axial chez les vertébrés reste une hypothèse — nous y reviendrons plus loin ; — mais *une fois posée cette hypothèse*, l'ordre de succession des formes dérivées, la sériation en un mot, se trouve imposée par ailleurs, au moins dans les grandes lignes. L'histogénèse montre, indépendamment de toute théorie, que le stade membraneux et le stade cartilagineux sont des étapes normales vers le tissu osseux proprement dit. Ici l'interversion des stades est impossible : l'expérience *impose* une sériation ; ailleurs cette sériation sera plutôt *suggérée* par analogie, mais de part et d'autre le principe méthodologique reste le même.

L'anatomiste trouvera donc une indication précieuse, parfois décisive, dans sa connaissance des causalités qui président à la genèse et à la transformation des tissus ou, d'une manière générale, des éléments anatomiques.

Mais nulle part ces transformations ne s'offrent à l'observation avec plus d'ampleur et d'évidence que pendant le *développement embryonnaire*. A partir d'une simple cellule, tous les organes, si complexes, de l'animal adulte, y sont différenciés graduellement. Je cherche à rattacher tel organe à une forme plus élémentaire : vais-je décréter à priori un ordre de dérivation purement arbitraire ? Personne aujourd'hui ne procéderait de la sorte ; avant tout je consulterai ce riche répertoire de transformations authentiques que m'offre l'embryon. Et si je suppose ensuite que des transformations analogues rattachent, dans le domaine de l'anatomie comparée, tel organe de telle espèce animale à tel

(1) Hertwig, *op. cit.*, p. 152.

autre organe de telle autre espèce réelle ou hypothétique, à tout le moins ma supposition ne pourra-t-elle être taxée d'invraisemblable ou de purement arbitraire.

En veut-on des exemples voyants? Chacun connaît les Pleuronectes ou les Soles, ces poissons plats dont la bouche reste, comme partout ailleurs, perpendiculaire au plan vertical médian du corps, mais dont les yeux sont implantés tous deux d'un seul côté de ce plan. Beaucoup de zoologistes expliquent cette dissymétrie bizarre comme l'effet d'une rotation d'un des yeux, qui jadis aurait quitté petit à petit le côté du corps par lequel les Pleuronectes reposent sur le fond de la mer, pour gagner l'autre côté et se rapprocher du second œil. Explication qui apparaîtrait comme une sorte de mixture mécano-finaliste assez étrange, si de fait cette rotation ne s'effectuait chez l'embryon des Pleuronectes, des Soles et d'autres poissons plats. Tout récemment (1) les matériaux recueillis au cours de l'expédition marine du *Vladivia* fournirent une description détaillée d'un être assez énigmatique, signalé d'ailleurs antérieurement, mais jusqu'ici très mal connu, l'Amphioxides. Celui-ci offre dans la disposition de plusieurs éléments anatomiques, et en particulier des fentes branchiales, une très remarquable dissymétrie. Or une espèce peu éloignée, le fameux Amphioxus lanceolatus, passe dans ses stades larvaires par une étape qui rappelle très exactement l'Amphioxides. La forme de l'Amphioxus adulte résulte en partie du rétablissement de la symétrie par un cheminement très réel et une transformation des organes intéressés. Ce fait permet d'établir entre Amphioxides et Amphioxus des homologies qui, sans cela, paraîtraient absolument fantaisistes. On pourrait multiplier les exemples de ce recours à l'em-

(1) R. Goldschmidt, Biol. Centralblatt, t. 25, 1905.

bryologie : du reste, plusieurs de ceux que nous proposons dans les pages suivantes trouveraient aussi bien leur place ici.

L'embryologie rend donc à l'anatomiste l'excellent service de le renseigner, et de le rassurer parfois, sur la *possibilité* de telles ou telles transformations : elles s'effectuent chez l'embryon, elles sont donc possibles.

Ce n'est pas tout. Le développement embryonnaire fournit un autre critérium, négatif il est vrai, mais nullement négligeable. Soit deux organes semblables, dont l'observation « statique » fait soupçonner l'homologie. L'étude isolée des étapes de différenciation embryonnaire du second semble confirmer le rapprochement : nous demeurons encore dans le cas traité ci-dessus. Mais voici que l'observation du développement du premier organe vient forcer à lui attribuer une origine embryonnaire différente de celle du second : les « Anlage » embryonnaires d'où dérivent les deux organes ne sont pas homologues entre eux. Dès lors, l'homologie présumée est irrévocablement condamnée. Et si l'on adopte le point de vue génétique, il doit en être ainsi ; une origine embryonnaire totalement différente en deux objets anatomiques, si semblables soient-ils, dénonce l'indépendance des séries causales qui les constituèrent ou purent les constituer : la présomption d'homologie créée par la similitude cède devant le fait manifeste de la diversité génétique. Ainsi les homologies de l'intestin chez les animaux ne sont pas ce qu'auraient pu croire d'anciens anatomistes. Ce qui correspond, chez des crustacés, comme l'écrevisse, à la majeure partie du tube digestif des vertébrés, se réduit à un minime segment de ce tube et à ses glandes annexes : seuls ce segment et ces glandes sont hypoblastiques chez l'écrevisse, alors que chez les vertébrés, à part le stomodaeum et le proctodaeum, le tube entier est dérivé de l'hypoblaste.

Quoi qu'il faille penser du détail de la « théorie des feuillets embryonnaires », on peut certes poser en règle que des organes qui proviennent normalement de feuillets différents ne sont pas homologues.

SECONDE PARTIE

Nous voici au cœur même de notre sujet.

L'esprit d'un lecteur, qui nous aurait suivi jusqu'à ce moment, ne peut pas demeurer en repos sur ce qui précède. Car les considérations que nous avons émises posent impérieusement un problème nouveau.

Que l'introduction du point de vue génétique dans l'homologie ait influencé fortement toute l'anatomie comparée moderne, c'est un fait; mais il importe de le préciser. Pour la plupart des morphologistes nos contemporains, la dérivation consciencieusement établie des formes fondamentales aux formes secondaires représente-t-elle une simple fiction qu'on eut la coquetterie d'imaginer aussi plausible, aussi vraisemblable que possible? Le lien génétique — au moins supposé — entre les organes homologues n'implique-t-il pas la parenté — directe ou indirecte — des espèces mêmes qui possèdent ces organes? L'évolution embryonnaire qui fournit au morphologiste des séries de transformations possibles, n'aurait-elle pas une signification plus précise et ne rappellerait-elle pas des transformations semblables, réellement effectuées, au cours des temps, dans l'histoire même des espèces; bref l'*ontogénèse* serait-elle sans rapports avec la *phylogénèse?*

Les nuances spéciales dont s'est revêtue, au XIX[e] siècle, la notion d'homologie ne permettent plus à l'anatomie comparée d'esquiver honnêtement ces problèmes : de l'attitude que l'on prendra devant eux dépend en partie la méthodologie de cette science.

Nous devrons donc examiner avec soin jusqu'à quel point les séries génétiques de l'Anatomie comparée répondent à quelque chose d'objectif.

« Il est naturel, et d'ailleurs parfaitement légitime au point de vue scientifique et philosophique, que le morphologiste, en édifiant ses constructions, se pose la question de savoir si les transformations d'organes, dont il a déduit l'acheminement, ne se trouveraient pas fondées aussi sur une réalité historique; en d'autres termes, si les organes, dans la structure compliquée qu'ils ont atteinte, ne seraient pas le produit d'une transformation lente opérée, chez les ancêtres des vertébrés actuels, sur des formes primitives plus simples. Une réponse affirmative s'impose à quiconque se place *sur le terrain de la théorie évolutionniste*, la seule d'ailleurs qui se justifie scientifiquement » (1).

Dans ce passage du Pr Hertwig, laissons la dernière incidente — qui peut présenter, si on la comprend bien, une signification très admissible — pour nous attacher surtout à l'affirmation générale qu'il renferme. Aux yeux d'un évolutionniste, la série génétique des organes homologues n'est donc pas en principe un simple artifice méthodologique, c'est, en quelque façon une réalité historique; et l'on conçoit sans peine qu'il doive en être ainsi. Nous touchons ici une nouvelle restriction, légitime ou non, de cette part d'arbitraire qu'entraîne nécessairement le choix des caractères d'homologie : en astreignant celle-ci à représenter une série génétique *au moins possible*, on avait déjà éliminé en partie son élément subjectif; ici l'épreuve éliminatoire devient plus décisive grâce à l'introduction d'une hypothèse, qui peut avoir par ailleurs certaines probabilités à son actif : la série génétique des formes homologues ne doit plus seulement être *possible* absolument

(1) Hertwig, *op. cit.*, p. 153.

parlant : elle doit être telle qu'on puisse la supposer *réellement* effectuée, c'est-à-dire supposer du même coup la *parenté physique* des espèces qui possèdent les formes homologues; d'où de nouvelles possibilités de contrôle. — Qu'on veuille bien remarquer de plus le raisonnement régressif que font en cette matière beaucoup de morphologistes contemporains : l'hypothèse très générale du transformisme, posée en postulat fondamental, leur permet de donner *à priori* une valeur objective aux transformations diverses dont ils ont méthodiquement peuplé l'anatomie comparée; cela fait, rien de plus simple que d'utiliser les séries génétiques, ainsi garanties, pour l'élaboration ultérieure de l'hypothèse transformiste elle-même. C'est ainsi que l'Anatomie comparée est à la base des théories évolutionnistes.

Il importe — on le comprend — d'examiner tout ceci de plus près.

I

Le Pr Hertwig dénonce en ces termes ce qu'il considère comme un véritable abus méthodologique. « Dans les dix dernières années, ç'a été une coutume très répandue de *lier étroitement le concept d'homologie avec celui de descendance commune.* On ne veut tenir pour homologues que des organes qu'on croit pouvoir considérer comme un héritage d'ancêtres communs. Cette prétention me paraît constituer moins un avantage qu'une difficulté nouvelle dans le maniement du concept d'homologie. Car faire la preuve d'une descendance commune est une entreprise singulièrement malaisée, en pratique. Au demeurant, pareille exigence nous enfermerait dans un cercle vicieux... L'anatomie comparée et l'embryologie nous livrent tout simplement le matériel scientifique sur lequel nous pouvons bâtir

un système naturel des animaux et édifier des hypothèses relatives à leur arbre généalogique. Aussi la détermination d'une homologie ne peut-elle être subordonnée à des rapports généalogiques, qui ne sont eux-mêmes autre chose qu'une hypothèse fondée sur des homologies. L'homologie est une donnée mentale, obtenue par comparaison : elle vaut *en tous cas*, soit qu'on doive l'expliquer par une communauté d'origine, soit plutôt qu'il faille faire appel à des lois générales de morphogénie organique. » (1). « Les méthodes de l'anatomie comparée ne peuvent donc être considérées comme des méthodes directement phylogénétiques (2).»

O. Hertwig, en formulant ces remarques très sensées, est manifestement préoccupé de sauvegarder l'autonomie de la morphologie comparée vis-à-vis des conceptions évolutionnistes, toujours hypothétiques par quelque côté : celles-ci doivent rester une simple superstructure, un couronnement si l'on veut, sans prétendre jamais à un rôle méthodologique fondamental. L'observation scrupuleuse de cette distinction des domaines serait hautement souhaitable, nous le reconnaissons sans peine; mais étant donné le certain jeu qui, nous l'avons montré, reste à l'anatomiste dans la fixation de son type d'homologie, comment empêcher, s'il est imbu d'idées évolutionnistes plus ou moins radicales, qu'il n'aille chercher la norme de son choix dans la perspective d'une généalogie à établir en conformité avec ses idées préconçues? Si l'on renonçait à assigner aux poissons d'une part, aux batraciens et aux mammifères d'autre part, un ancêtre vertébré commun, prendrait-on vraiment tant de peine pour imaginer un schéma qui pût convenir à la fois au membre antérieur des uns et à la nageoire des autres? Inversement, sup-

(1) Hertwig, *op. cit.*, p. 151.
(2) *Ibid.* p. 152.

posé bien démontré qu'un des termes d'une série homologue soit sans rapport aucun de parenté avec les autres termes, combien de zoologistes se résigneraient à maintenir son homologie? Pour prendre exemple dans une homologie classique — et d'ailleurs parfaitement justifiée, encore qu'en fait elle soit infiniment moins simple que beaucoup ne croient — continuerait-on à introduire, dans la série qui s'étend du Phenacodus primaevus, au pied pentadactyle, jusqu'à nos Solipèdes actuels, un Mésohippus quelconque auquel on aurait découvert une souche lointaine absolument distincte de celle du type pentadactyle? Supposition absolument fantaisiste dans le cas présent, mais qui pourrait se vérifier dans des conjonctures moins claires. Et nous avouons volontiers que pour des « polyphylétistes » comme le Pr Hertwig et nombre d'anatomistes de marque, l'écueil que nous signalons est beaucoup moins redoutable que pour des évolutionnistes unitaires : car les premiers jugeront plus essentiel à une série homologue de se développer en conformité avec les lois générales de la morphogénie que de représenter authentiquement une lignée zoologique. Malgré tout nous estimons qu'il est difficile aujourd'hui de dégager l'anatomie comparée de tout préjugé phylogénétique : ici comme en d'autres domaines, l'hypothèse largement synthétique, qui semblerait ne devoir être qu'un fruit de la science, sert en partie à l'édification même de la science.

II

Quoi qu'il en soit du point spécial que nous venons de toucher, tout le monde admettra que le naturaliste, devant un système plus ou moins satisfaisant d'homologies, sera hanté par le problème de leur valeur objective et historique. S'il admet l'idée générale du

transformisme, c'est-à-dire à tout le moins la variabilité de l'espèce, une véritable nécessité psychologique le poussera à reconnaître, dans les objets homologues, autre chose que l'effet d'une simple coïncidence : il y pressentira des relations causales plus étroites, et du coup se posera la question du *degré de parenté physique des possesseurs d'organes homologues*.

Déceler les lignées ancestrales : voilà l'entreprise ardue qui lui reste à tenter. Entreprise ardue, certes : si ardue qu'elle ressemble souvent à une aventure. Aucun morphologiste compétent n'y contredira. Car, comme dit Th. H. Morgan, « que toutes les questions phylogénétiques soient hasardeuses et hérissées de difficultés, c'est trop manifeste pour quiconque a pratiqué la littérature (scientifique) des trente dernières années » (1).

Nous allons examiner d'un peu plus près la valeur des principaux indices qui peuvent mettre le naturaliste sur la piste de « l'ancêtre ».

§ 1. Tout d'abord, écartons radicalement et une fois pour toutes, dût quelque profane s'en étonner, une conception absolument insoutenable de la valeur significative des classifications botaniques ou zoologiques au point de vue de l'évolution présumée des espèces. S'il y a une chose certaine, en vertu même des principes transformistes, c'est qu'aucune forme actuellement existante ne représente rigoureusement une étape antérieure des lignées ancestrales. « Pas plus, écrit Gegenbaur, que nous ne pouvons chercher parmi les générations vivantes les ancêtres d'une famille ou d'une race, nous ne sommes autorisés à penser qu'on puisse découvrir, dans le monde animal actuel, sous un aspect non modifié, les formes mêmes

(1) Th. H. Morgan, *Evolution and Adaptation*. New-York, 1903, p. 49.

qui furent jadis le point de départ de la différenciation de tel ou tel groupe (1). » Et Osk. Hertwig en conclut même « que d'ordinaire la question doit rester ouverte, de savoir la place qu'il conviendrait d'assigner, dans un système de classification, à une forme ancestrale un peu reculée ».

Le procédé qui consisterait à faire de la phylogénèse un simple décalque de la systématique (abstraction faite même des groupes *incertae sedis*) serait aujourd'hui parfaitement ridicule. La phylogénèse doit être reconstituée *non pas par transposition, mais par interprétation* du groupement rationnel des organismes subsistants.

§ 2. On imagine deux manières rationnelles de dégager *au moyen des données de l'Anatomie comparée*, la physionomie de « l'ancêtre » ou plutôt des « ancêtres » communs de plusieurs espèces organiques.

La première consisterait à *abstraire successivement*, en remontant des formes plus complexes aux formes plus simples, certains groupes de caractères généraux universellement réalisés dans certaines classes d'organismes. De la sorte apparaîtraient, par exemple, un type mammifère, contenant ni plus ni moins la quintessence commune à tous les mammifères, un type vertébré, un type cœlomate, et ainsi de suite. Cette cascade de généralisations, cette exténuation progressive des caractéristiques, peut mener, théoriquement, jusqu'à la cellule pure et simple. En fait, une pareille opération, poussée à l'extrême, aurait plutôt l'apparence d'un jeu de logicien que d'une induction de naturaliste. Puis, cette quintessence de mammifère, de vertébré, etc., définie en somme par les caractères généraux des groupes respectifs, c'est une *abstraction* qui doit nécessairement se concréter d'une façon ou

(1) C. Gegenbaur, *Grundz. d. vergl. Anatomie.* 2e Aufl. 1870, p. 75 (nach Hertwig).

d'une autre pour représenter un ancêtre historique : quand on dit, en énonçant les caractères des chordates, que ceux-ci possèdent, au moins à quelque moment de leur développement individuel, une corde dorsale et des fentes pharyngiennes, on énonce, sous forme intellectuelle et abstraite, un attribut du chordate primitif présumé, mais on n'esquisse pas même la physionomie concrète de cet ancêtre idéalisé : il y a tant et tant de manières de posséder une corde dorsale et des fentes pharyngiennes !

La plupart des naturalistes, désireux de *reconstituer* le passé autrement que sous la forme d'un répertoire de propositions abstraites, applicables à des êtres qui par ailleurs nous seraient totalement inconnus, imaginent un artifice de méthode que le P[r] Hertwig critique très justement, peut-être trop sévèrement. « Ils simplifient et dépouillent de ses particularités de classe la forme ancestrale d'un mammifère, puis ils la rattachent à celle des classes inférieures de vertébrés dont, à leur avis, l'organisation simplifiée de cette forme la rapproche davantage. Ainsi iront-ils chercher parmi les ancêtres immédiats des sélaciens la forme-souche des mammifères, caractérisée qu'elle est par un squelette axial cartilagineux, un cœur non cloisonné, un pronéphros, etc... Ils feront dériver sélaciens et mammifères d'un tronc commun, les prosélaciens (1). »

On saisit tout ce que cette seconde méthode ajoute à la précédente : le groupe de caractères abstraits prend corps cette fois, grâce à une analogie qui n'est pas sans hardiesse. Et le procédé, si l'on n'en abusait trop souvent, ne manque pas d'une certaine élégance capable de désarmer l'austère critique. Mais l'homme de science n'est point par vocation un esthète, et il y

(1) Hertwig, *op. cit.*, p. 154..

aura tout profit à peser les observations suivantes de Hertwig, auquel cette « méthode ne paraît pas, scientifiquement, à l'abri de tout reproche ».

« On ne tiendra un vertébré pour prosélacien que s'il possède les caractéristiques systématiques des sélaciens. A moins que, dans la forme fondamentale de mammifère (élaborée comme on l'a dit ci-dessus), il ne reste rien autre chose que le type même du vertébré : mais alors à quoi bon cette appellation de prosélacien? Car le préfixe *pro*, s'il signifie quelque chose désigne des sélaciens qui ont appartenu, non pas à la période actuelle mais à une période antérieure des temps géologiques. Or, les caractères systématiques des sélaciens comprennent un grand nombre de particularités d'organisation qui portent chacune bien visible l'empreinte de la classe. Et l'on conclut avec une haute probabilité à l'existence de sélaciens disparus en se fondant sur la forme et la structure très spéciales de dents fossiles, d'écailles placoïdes et de restes vertébraux. Ainsi donc, celui qui voudrait classer chez les prosélaciens l'ancêtre des mammifères devrait lui attribuer les caractères de la classe des sélaciens en remplacement des caractères de mammifère qu'il lui enlève. Pareille méthode donne prise à la critique. Car quelle nécessité y a-t-il donc qu'une colonne vertébrale cartilagineuse ne soit possible qu'avec les caractères spéciaux de la colonne vertébrale de sélaciens? Bien au contraire, l'expérience nous montre dans l'embryon de mammifère une colonne cartilagineuse d'un tout autre type. Et cette remarque s'applique aussi bien à d'autres systèmes d'organes. Toutes ces raisons interdisent de se représenter sous l'image d'animaux inférieurs actuellement vivants... les formes ancestrales des animaux plus hautement organisés. La paléontologie non plus ne peut ici nous apporter aucun secours, tant sont lacuneux et incomplets ses

documents, qui en tous cas ne nous apprennent rien, d'ordinaire, sur les systèmes organiques les plus importants, les parties molles (1). »

Hertwig a raison : même posé le postulat de l'évolution, *nous manquons absolument de modèles tant soit peu sûrs pour concréter les formules abstraites d'ancêtres* dont nous aurions jalonné le passé des organismes. Rarement pourtant nous nous résignons à la constatation platonique de notre ignorance : nous préférons tromper la faim de notre esprit en superposant les hypothèses aux hypothèses. Jeu bien innocent si une demi-inconscience des aléas que nous introduisons ainsi dans nos raisonnements ne nous donnait parfois le change sur la vraie valeur de telle de nos conclusions, et, quand nous sommes écrivains, n'illusionnait par contre-coup une partie de nos lecteurs.

TROISIÈME PARTIE

Nous n'aurons pas la naïveté de demander un *mea culpa* et une réforme de leurs procédés à ceux des morphologistes actuels auxquels s'appliqueraient les critiques ci-dessus. D'autant moins que nous avons omis de signaler ce que la plupart considèrent comme le principal critérium et l'indication la plus suggestive que puisse souhaiter un chercheur d'ancêtres : *l'embryologie*.

Déjà nous avons vu que l'embryologie joue un rôle appréciable dans la mise sur pied des homologies de l'anatomie comparée : elle y rend au moins le service d'une sorte de norme qui garantit la vraisemblance ou la possibilité de certaines transformations supposées et en élimine quelques autres. Le rôle de l'embryologie,

(1) Hertwig, *op. cit.*, pp. 154-155.

au point de vue qui nous occupe pour l'instant, est un peu différent : en théorie, il ne devrait s'exercer qu'*après* constitution des séries homologues : en pratique, nous croyons que les divers moments se confondent très fréquemment. Mais nous ne traitons ici qu'une question de méthodologie *théorique.*

Disons-le tout de suite. *Du point de vue évolutionniste,* il est incontestable que le développement embryonnaire peut fournir quelques renseignements précieux sur la phylogénèse : ses étapes reflètent, dans une certaine mesure du moins, quelques étapes du développement des espèces. Mais quels sont au juste ces renseignements, jusqu'à quel point ce reflet est-il fidèle?

I

Avant d'étudier plus en détail la signification possible de quelques stades embryonnaires, il ne sera pas inutile de prendre une vue d'ensemble de trois grands courants d'opinions auxquels se rattachent la plupart des spéculations « biogénétiques ».

1

Bien avant que le point de vue évolutionniste eût rallié la majorité des naturalistes, on avait remarqué des analogies singulières entre les caractères des stades successifs de l'embryon et ceux de la série ascendante des types organiques adultes. Ces analogies se trouvent suggérées ou exprimées, parfois sous une forme hautement fantaisiste, dans les ouvrages de Kielmeyer (1793), Oken (1805), Walther (1808), Meckel (1808 et 1821) et d'autres. Voici par exemple une phrase de Walther : « Le fœtus humain accomplit ses métamorphoses dans la cavité de l'utérus de manière à rappeler successive-

ment toutes les classes d'animaux, sans s'immobiliser dans aucune d'elles : ainsi se développe-t-il graduellement jusqu'à atteindre la forme humaine spécifique. » Suivent des exemples un peu surannés dans leur simplisme. A propos des rapprochements parfois naïfs tentés par Meckel, Th. H. Morgan glisse une remarque qu'on livrerait volontiers aux méditations de quelques-uns de nos contemporains : « Parmi les comparaisons de Meckel beaucoup nous apparaissent aujourd'hui parfaitement absurdes... d'autres, par contre, ont survécu dans nos traités modernes d'embryologie ; et nous pourrions à juste titre nous demander si elles ne paraîtront pas également absurdes dans une centaine d'années (1). »

Avec von Baer, le père de l'embryologie comparée, l'interprétation de la valeur comparative des formes embryonnaires prend un tour plus réellement scientifique. Von Baer n'admettait pas l'idée d'évolution. Dans son ouvrage *Ueber die Entwickelungsgeschichte der Tiere* (1828-1837), il part de ce principe que plus deux formes adultes sont voisines, plus le parallélisme de leur développement embryonnaire sera prolongé. Les embryons de deux espèces de pigeons, par exemple, demeurent pratiquement identiques jusqu'au moment où, sur le tard, apparaissent les caractères proprement spécifiques. Les embryons de différentes familles d'un groupe plus étendu coïncideront dans une partie de leurs stades jeunes, mais divergeront plus tôt que les précédents. Et ainsi de suite : la portion commune du développement embryonnaire se réduira à mesure que les types comparés entre eux seront plus distants l'un de l'autre dans les tables systématiques. Une réelle ressemblance existe donc, pour von Baer, non pas précisément entre des stades

(1) Th. H. Morgan, *op. cit.*, p. 60.

embryonnaires d'une part et des organismes inférieurs d'autre part, mais *entre certains stades embryonnaires* se correspondant de groupe à groupe.

Cette conception, qui contient une part — mais une part seulement — de vérité, pourrait se traduire sans peine en langage évolutionniste : von Baer ne l'a pas fait. C'est également du point de vue de la fixité des espèces que Louis Agassiz proposa (1848) des vues destinées à devenir fécondes : dans les étapes de son développement, l'embryon des animaux supérieurs ressemblerait moins à des animaux inférieurs actuellement vivants qu'à ceux qui vécurent dans le passé et dont on peut retrouver les restes fossilisés.

Si l'on songe que le grand épanouissement des idées évolutionnistes prend date, au plus tôt, à l'apparition du livre de Darwin sur l'*Origine des espèces* (1859), on se rendra compte, sans qu'il soit besoin d'insister, que certaines idées maîtresses de la morphologie comparée étaient en l'air bien auparavant et devaient fatalement faire leur percée : la théorie de l'évolution eut l'immense avantage de les synthétiser sous une forme plus intelligible pour un cerveau de naturaliste, elle n'eut pas le mérite de les susciter.

Aucun fait, que nous sachions, ne contredit formellement, aujourd'hui même, l'hypothèse de la *fixité des espèces*. Et l'on ne doit pas endosser aux tenants de cette hypothèse le léger ridicule d'adopter comme espèce bonne, naturelle et fixe, toutes les espèces de nos classifications : car chacun sait que, parmi les critères de « l'espèce », les plus décisifs sont les moins applicables. Les espèces *fixes* seront parfois des espèces systématiques et parfois peut-être des groupements plus généraux. Il ne faut pas non plus exagérer la « fixité » requise de l'espèce : celle-ci peut varier, donner lieu à de multiples variétés, même à des variétés stables, mais toujours, pourtant, dans des limites relativement

étroites, qu'on ne saurait définir nettement sans pétition de principe.

Quelle est, dans l'hypothèse de la fixité, le rapport de l'ontogénèse et de la phylogénèse ? La lignée ancestrale *d'une espèce donnée* pourrait se représenter par une chaîne isolée dont tous les anneaux auraient une valeur équivalente : chaque anneau équivaudrait à une ontogénèse, et les ontogénèses successives seraient autant et si peu semblables entre elles que le permettrait *l'identité d'une même tendance spécifique* interférant à chaque instant avec le fouillis des *causes actuelles*.

Que si l'on demande à un partisan de la fixité des espèces, le pourquoi de la ressemblance entre des ontogénèses *de groupes différents*, ou bien il invoquera l'unité de plan introduite par une intelligence ordonnatrice : c'est le point de vue d'Agassiz ; ou bien il en cherchera la cause dans l'universalité de certaines lois du développement morphogénique : les étapes de la cellule-œuf à la forme adulte seraient déterminées par trois genres de facteurs : une tendance morphologique interne et propre à chaque espèce ; certaines causalités régissant d'une manière absolument générale le développement organique ; certaines influences perturbatrices spéciales, dues aux circonstances actuelles ou à l'hérédité. Les *similitudes* de groupe à groupe s'expliqueront par l'importance des causalités morphogéniques communes à tous les organismes ; les *différences* par le jeu des autres facteurs.

La critique d'un « fixisme » ainsi entendu nous entraînerait bien au delà des limites de notre sujet. Pourtant, puisque nous nous permettons, au cours de cet article, d'apprécier sévèrement certaines conceptions simplistes de l'évolution, qu'on nous pardonne un aveu qui préviendra, nous l'espérons, toute accusation de parti-pris antiévolutionniste. A l'hypothèse de la

constance des espèces, moyennant l'introduction d'une dose suffisante de « variabilité » intraspécifique, nous ne trouvons à opposer aucune objection *décisive*, c'est entendu ; mais nous avouons que cette hypothèse ne nous rend pas l'impression créée par la masse des menus faits et nous semble passible de difficultés sérieuses, sinon insurmontables. Au demeurant, s'il fallait exprimer d'une manière plus précise la nuance de notre opinion, nous emprunterions volontiers, en en modifiant le contenu, une comparaison heureuse de Fréd. Houssay (1) ; un « fixisme » *éclairé*, dirions-nous, et un évolutionnisme *soucieux des faits*, sont comme deux variables qui tendent vers une limite commune, et cette limite, à notre sens, pourrait bien être un *transformisme modéré.*

Nous devons nous rendre compte, à présent, de la signification que prend l'ontogénèse *aux yeux des évolutionnistes.* Et nous rangerons ceux-ci sous deux chefs principaux.

2

L'hypothèse d'une ligne d'évolution partant des termes infimes de nos classifications, pour atteindre, en remontant l'échelle des groupes actuellement vivants, les types hautement organisés et différenciés que nous plaçons au sommet, cette hypothèse paraîtrait aujourd'hui assez puérile pour qu'il ne vaille pas la peine de nous y arrêter. Un mammifère n'a jamais été, à proprement parler, un ver, un poisson ou un amphibien.

Aussi les évolutionnistes les plus radicaux — et Haeckel lui-même — font-ils tous plus ou moins usage,

(1) F. Houssay, *Nature et Sciences naturelles.* Paris, Flammarion, p. 132.

dans l'édification de leurs arbres généalogiques, de la méthode dite *de convergence*. Les types actuels sont comparables aux extrémités isolées des rameaux d'un arbre : si l'on suit chaque rameau de son extrémité, qui représente un type actuel, jusqu'au tronc même de l'arbre, remontant ainsi toute la lignée ascendante de ce type, on rencontrera un certain nombre de bifurcations, où se rattachent d'autres rameaux : ces bifurcations représentent des ancêtres communs à plusieurs groupes, des formes-souches; et ces formes-souches iront, naturellement, en diminuant de nombre et de complexité à mesure qu'on se rapprochera du tronc.

Le malheur est que ces types hypothétiques, situés aux points de convergence des lignées ascendantes, n'ont point pour la plupart de représentants actuels : parfois la paléontologie fournit les éléments — toujours partiels — d'une conjecture plausible; mais cette aubaine doit souvent une partie de son prix à sa rareté même, et — voyez l'ironie des choses — à côté d'éléments de lumière, entraîne généralement avec elle de nouvelles complications des problèmes.

S'il était vrai que tout être porte, dans les stades de son développement embryonnaire, le mémorial du développement historique de son espèce! L'ontogénèse des diverses espèces fournirait alors un ensemble incomparable de documents qu'il suffirait de lire intelligemment pour en tirer l'histoire complète de la descendance organique.

Mais une lecture intelligente de documents, si nous en croyons la critique historique, n'est pas opération si aisée qu'on le pourrait croire. Il en est absolument de même pour l'interprétation des documents ontogénétiques : nous allons constater combien cette exégèse morphologique est délicate et subjective, eût-on même posé en postulat nécessaire le principe de l'évolution.

Écoutons d'abord Haeckel.

« La *loi biogénétique fondamentale*... est la loi capitale de l'évolution organique (1). » « Ce principe biogénétique peut être formulé brièvement en ces termes : l'histoire des germes résume l'histoire de l'espèce ; ou, en d'autres termes : l'ontogénie n'est que la récapitulation sommaire de la phylogénie. On peut traduire plus explicitement cette brève formule comme suit : La série des formes par lesquelles passe l'organisme individuel, à partir de la cellule primordiale jusqu'à son plein développement, n'est que la répétition en miniature de la longue série de transformations subies par les ancêtres du même organisme depuis les temps les plus reculés jusqu'à nos jours (2). »

« Cette connexité intime de l'ontogénie et de la phylogénie est une des preuves les plus capitales et les plus irréfutables de la théorie de la descendance. C'est seulement en invoquant les lois de l'hérédité et de l'adaptation qu'il est possible d'expliquer ces faits (3). » Et Haeckel enserre toute son idée dans cette formule concise : « la phylogénèse est la cause mécanique de l'ontogénèse » (4).

Passons sur le mot de « preuve », dont Haeckel se sert volontiers dans un sens qui n'est point toujours celui de la logique vulgaire : aussi bien notre but, dans cet article, n'est aucunement de doser la part de probabilité de l'hypothèse évolutionniste. Attachons-nous plutôt à saisir exactement la valeur que prennent les stades embryonnaires pour un esprit aussi excessivement simplificateur que celui du « prophète d'Iéna ». Il est bien évident qu'un croquis de tel stade embryon-

(1) E. Haeckel, *Histoire de la Création naturelle*. Trad. Letourneau. Paris, 1877, p. 275.
(2) E. Haeckel, *Anthropogénie*. Trad. Letourneau. Paris, 1877, p. 5.
(3) *Hist. de la Création*..., p. 275.
(4) *Anthropogénie*, p. 5.

naire, correspondant par hypothèse à tel degré de la lignée ancestrale d'un type actuel, ne saurait être en aucune façon un « portrait » de l'ancêtre : singulière galerie d'aïeux, celle qu'un artiste nous reconstituerait en peignant nos stades embryonnaires « pisciforme », « amphibie » et ainsi de suite... Tout ce qu'Haeckel prétend, c'est que l'*organisation générale des systèmes anatomiques* aux différentes étapes embryonnaires répond *à peu près* à ce qu'elle fut aux divers échelons de la série généalogique. Ceci posé, pour concréter cette série généalogique et la mettre en rapport avec les cadres de l'anatomie comparée, il utilise le procédé de comparaison que nous avons signalé plus haut : la recherche du type inférieur qui réalise au mieux les caractères abstraits d'organisation présentés par tel stade de l'ontogénèse : ce type, ou bien représentera l'ancêtre, ou, plus souvent, n'en représentera qu'une forme proche parente. Et le résultat de ces rapprochements sera premièrement de préciser davantage les traits un peu « flous » de l'ancêtre et secondement d'assigner à celui-ci une place nette dans la classification des êtres organisés.

Dégageons quelques-uns des *postulats* impliqués dans cette manière de procéder.

De prime abord on remarquera que la « loi biogénétique », au sens que lui attribue Haeckel après Fritz Müller, *n'a rien des caractères d'une loi expérimentale :* plus exacte eût été l'appellation « d'hypothèse biogénétique », puisque aussi bien cette soi-disant loi implique le principe, hypothétique lui-même, de la descendance transformiste.

Et il importe de ne pas confondre la loi biogénétique de Haeckel avec la loi du *parallélisme embryonnaire* de von Baer : cette dernière, à condition de ne pas forcer la valeur du mot « parallélisme » exprime un ensemble de faits expérimentaux et peut mériter le nom

de *loi*. De même l'on pourrait exprimer sous la forme d'une loi les similitudes d'organisation entre la série ascendante des êtres vivants actuels et la succession des stades embryonnaires. Mais proclamer le parallélisme de ces stades avec les formes hypothétiques de la lignée ancestrale, c'est *supposer* que l'échelle des êtres, telle qu'elle résulte des homologies de l'anatomie comparée, représente en réalité, à peu de chose près, une série génétique. Et nous retrouvons ici le problème déjà rencontré à propos de la détermination des homologies : le point de vue génétique, qu'il serve à l'élaboration même de l'homologie, contrairement au vœu d'O. Hertwig, ou bien qu'il en constitue seulement une sorte d'épiphénomène plus ou moins discutable, n'entre en scène, de toute façon, que sous le patronage de l'hypothèse générale de la descendance. La « loi biogénétique » peut donc faire la base de spéculations — dont nous nous abstenons ici d'apprécier la valeur — mais elle ne peut aspirer au rôle de *loi fondamentale* de l'anatomie comparée, aussi longtemps du moins que l'on prendra à cœur la sérieuse objectivité — parfois compromise — de cette science.

En second lieu, au risque d'imposer au lecteur des répétitions fastidieuses, nous tenons à souligner de nouveau ce fait, que, pratiquement, Haeckel, tout en proclamant le parallélisme des stades embryonnaires avec les seules formes *ancestrales*, n'en modèle pas moins ces ancêtres sur des types *actuellement vivants*. Quelle est ici la part d'arbitraire? Nous verrons plus loin qu'elle n'est pas tout à fait nulle.

Troisièmement, il importe de remarquer la conception très spéciale de l'ontogénèse qui gît sous l'énoncé haeckelien de la loi biogénétique. L'ontogénèse d'une « monère », tout à l'origine des êtres vivants, ne pouvait être qu'extrêmement simple : mettons qu'elle comprenait seulement un stade A se prolongeant chez

l'adulte ; un peu plus tard, grâce à « l'adaptation et l'hérédité », la forme vivante s'est compliquée : son ontogénèse comprendra deux stades : un stade A, réplique du premier, puis un stade B; la troisième ontogénèse débutera à son tour par un stade A, se poursuivra par un stade B, pour se clore par un stade nouveau C... Reprenant l'idée de Hertwig, qui compare la phylogénèse à une chaîne dont les ontogénèses successives formeraient les anneaux, nous pourrions traduire comme suit l'hypothèse de Haeckel :

Phylogénèse : A + A.B + A.B.C + A.B.C.D. + ...

Comme on le voit, sur toute la ligne les premiers stades, A, sont homologues entre eux ; les seconds le sont à partir du second terme, et ainsi de suite.

En fait, Haeckel lui-même dut, pour mettre sa loi mieux en harmonie avec l'embryogénie et l'anatomie comparées, apporter *quelques tempéraments* à la formule exprimée ci-dessus. Car aussi bien tous les stades ancestraux d'une certaine importance ne trouvaient pas leur correspondant au cours de l'ontogénèse d'une multitude d'animaux ; bien plus, les formes ontogénétiques apparaissaient souvent un peu trop modifiées pour qu'on pût parler d'une simple répétition des formes ancestrales. Devant ces difficultés, Haeckel imagina la distinction bien connue de la *palingénèse* et de la *cénogénèse*. Les aspects embryonnaires ne sont pas une simple récapitulation abrégée des échelons principaux de leur lignée ascendante (palingénèse), mais bien une résultante de cette palingénèse combinée à un autre processus, la cénogénèse, c'est-à-dire l'ensemble des transformations imposées à un ou plusieurs stades embryonnaires ou larvaires par la nécessité de s'adapter à de nouvelles conditions de vie. Ces transformations étant elles-mêmes héréditaires, on entrevoit les complications qui pourront s'en suivre.

Veut-on des exemples de cénogénèse ? On n'a guère

ici que l'embarras du choix, car il n'existe peut-être pas un seul stade embryonnaire qui soit indemne de cette influence perturbatrice. Weismann, que sa sympathie pour la phylogénèse haeckélienne rend parfois trop indulgent dans ses appréciations, avoue cependant que l'ontogénèse n'est pas seulement une répétition abrégée de la phylogénèse, pas seulement une répétition *altérée* en *beaucoup* de cas, mais une répétition *fortement altérée dans tous les cas* (1). Voici un exemple assez évident de cénogénèse proposé par Weismann : les chrysalides de papillons. « Comme elles sont incapables de prendre de la nourriture et de se mouvoir, il est impossible qu'elles aient jamais été des formes animales adultes : elles ne peuvent donc représenter non plus des ancêtres réels des papillons actuels (2). » Et Weismann tente une explication — qui nous plaît moins — de l'origine de ces formes de nymphe ou de chrysalide.

La distinction de la palingénèse et de la cénogénèse n'est pas un pur expédient de théoricien : elle répond à une certaine complexité des faits, et d'ailleurs, du point de vue de Haeckel, s'imposait impérieusement. Mais quel contre-coup fâcheux n'a-t-elle pas sur l'apparente simplicité de la « loi biogénétique » ! Comment doser à coup sûr, dans une forme embryonnaire ou larvaire, l'*influence précise de l'un et de l'autre processus ?* Et cette circonstance seule ne suffirait-elle pas à condamner, au nom de la science, ces séries généalogiques, hautement fantaisistes parfois, qu'on n'a pas honte d'étaler aux yeux des simples comme la dernière conquête du savoir humain ?

Puisque nous avons ouvert tantôt les *Leçons sur la théorie de la descendance*, de Weismann, lisons-en quelques lignes encore : « On ne peut pas, sans plus,

(1) A. Weismann, *Vorträge über Descendenztheorie*, Bd. II. Jena, 1902, p. 194.
(2) Id., *ibid.*, p. 195.

considérer chaque stade ontogénétique comme une étape ancestrale : il faut en outre prendre conseil des faits que nous fournissent, pour l'appréciation de semblables problèmes, d'autres domaines de la science, surtout la morphologie comparée et l'ensemble de l'embryogénèse et de l'ontogénèse comparées (1). »

L'application détaillée de la loi biogénétique suppose, comme on le voit, un travail d'interprétation assez compliqué, même aux yeux de Haeckel et de ses amis.

Plus d'une fois les procédés de Haeckel furent jugés sévèrement par ses pairs : on était choqué du simplisme intolérant apporté à la solution de problèmes ardus, de ces problèmes qui laissent perplexes les esprits les plus sérieux et les mieux informés. Huit ans après la publication de la *Generelle Morphologie*, Wilhelm His, dont Haeckel ne pouvait certes récuser la compétence embryologique, dressait contre celui-ci un réquisitoire accablant, où l'on peut lire les lignes suivantes : « J'ai été élevé dans la persuasion que, de toutes les qualités qui font le bon renom d'un naturaliste, la véracité et le respect sans bornes pour la vérité expérimentale sont les seules dont il ne puisse à aucun prix se passer. Aujourd'hui encore, je crois que la perte de ces qualités-là ternit du coup toutes les autres, eussent-elles par ailleurs le plus vif éclat. Que d'autres donc honorent dans M. Haeckel le chef de parti actif et violent : à mon avis, par sa manière de mener campagne, il a perdu jusqu'au droit de compter comme un collègue dans le cercle des chercheurs sérieux (2). » W. His écrit ces lignes sous l'impression des inexactitudes flagrantes et tendancieuses qu'il vient de dénoncer dans les affirmations et jusque dans les

(1) A. Weismann, *op. cit.*, p. 194.

(2) W. His., *Unsere Körperform und das physiologische Problem ihrer Entstehung*. Leipzig, 1875, p. 171.

dessins de Haeckel. D'autres accordent davantage les circonstances atténuantes. Haeckel, « un beau lutteur », et l'on sourit avec indulgence. En attendant, les éditions populaires de l'*Anthropogénie*, de l'*Histoire de la Création naturelle*, des *Énigmes de l'Univers* se multiplient et distribuent pour quelques sous, à d'innombrables badauds, le « pain de la science » !...

Encore si l'on insérait dans les préfaces quelques appréciations de savants contemporains que leur attachement à la théorie de l'évolution n'empêche pas de regarder en face la complexité des faits. Nous recommanderions, par exemple, ce paragraphe de Morgan : « L'application la plus excessive, et, à plus d'un titre, la moins critique, qu'on ait faite de la théorie de la récapitulation fut celle de Haeckel : nous voulons parler surtout de sa tentative pour ramener tous les animaux supérieurs au type ancestral d'un sac ouvert, à double paroi : la gastraea. Il décora la théorie de la récapitulation d'une appellation de son crû : la loi biogénétique. Cette application romanesque et extravagante de l'ancienne théorie de la récapitulation a probablement plus contribué à faire tomber celle-ci en discrédit, chez les embryologistes, que les critiques mêmes de ses adversaires (1). » Mais peut-être est-ce trop exiger de l'abnégation des rééditeurs de Haeckel; on pourrait, au fond, se montrer bon prince et leur demander seulement d'emprunter à une plume autorisée l'expression *très modérée* de ce que tout le monde sait, sauf les lecteurs d'éditions populaires. Oh ! peu de chose, si l'on veut. Par exemple, ces quelques mots extraits des leçons de Hugo de Vries à l'Université de Californie : « L'idée de tracer l'arbre généalogique des principaux groupes d'organismes vivants est due originairement à Haeckel, qui employa cette méthode graphique pour exprimer la

(1) Th. H. Morgan, *Evolution and Adaptation*. New-York, 1903, p. 71.

théorie darwinienne de la descendance. Au demeurant, les arbres généalogiques de Haeckel ont un caractère purement hypothétique et n'ont d'autre but que d'amener à une conception claire de la notion de descendance et des grandes lignes de l'évolution prise en gros. Il est évident que tous les détails en sont sujets à caution : du reste, un bon nombre de ceux-ci furent modifiés en conséquence par les naturalistes qui suivirent. On peut considérer ces changements comme une amélioration partielle ; et la forme un tant soit peu pittoresque des généalogies haeckéliennes pourrait avantageusement être remplacée par des lignes plus sobres (1). »

Il serait facile de composer toute une gamme d'appréciations de ce genre. Celles-ci suffisent du moins à démontrer que la loi biogénétique — quels que soient par ailleurs ses avantages théoriques — n'est point l'instrument de haute précision qu'on pourrait croire à la lecture de Haeckel. *Pourquoi manque-t-il de précision?* Nous en avons entrevu déjà quelques raisons : nous allons en rencontrer d'autres. Mais auparavant qu'on nous permette, pour mieux fixer l'étape où en est arrivée notre étude, de reproduire quatre lignes d'Edmond Perrier. Nous souscrivons volontiers aux réserves qui y sont formulées, sauf à les accentuer encore dans les pages qui suivront. « Depuis Bonnet jusqu'à Fritz Müller, écrivait-il en 1886, les naturalistes se sont efforcés en vain de démontrer, dans des spéculations trop générales pour être précises, que le développement de l'individu n'était autre chose que la répétition abrégée du développement de son espèce. Cette proposition, que tous les transformistes acceptent aujourd'hui et qui semblerait devoir mériter de nouveau à l'embryogénie le titre d'anatomie transcen-

(1) Hugo de Vries, *Species and Varieties. Their origin by mutation.* 2d edit. Chicago-London, 1906, p. 707.

dante, cette idée qui semblerait devoir être si féconde, ne trouve son application dans aucune des classifications proposées.

» C'est qu'en effet l'embryogénie d'un animal est la résultante d'au moins quatre facteurs qui interviennent simultanément pour produire la série des phénomènes qu'elle présente. Ces facteurs sont : 1° l'hérédité; 2° l'accélération embryogénique; 3° le mode de nutrition de l'embryon; 4° l'indépendance des plastides, des tissus, des organes et des appareils. » « Si les formes successives de l'embryon sont des formes ancestrales, ce sont certainement des formes ancestrales profondément modifiées. Comme, au point de vue de la comparaison des animaux adultes, que visent avant tout la classification et l'anatomie, les formes ancestrales ont seules de l'importance, tant qu'on n'aura pas distingué, dans les formes de l'embryon, ce qui est primitif et ce qui est modifié, ces formes ne pourront donner que des indications douteuses (1). »

3

Chez plusieurs évolutionnistes actuels, la « loi biogénétique » de Haeckel revêt des modalités si spéciales qu'elle en est presque méconnaissable. N'ayant pas entrepris de tracer une esquisse historique des systèmes et des opinions, nous nous bornerons à mettre en lumière deux conceptions assez explicites de la valeur significative de l'ontogénèse. Elles ont un certain intérêt méthodologique et se rattachent d'ailleurs à deux noms bien connus.

§ 1. Le biologiste américain, Th. H. Morgan, émit, en 1903, un ensemble de vues qui rappellent jusqu'à

(1) Edm. Perrier, *La Philosophie zoologique avant Darwin*. Paris, 1886, pp. 265-266.

un certain point la théorie du « parallélisme embryonnaire » de von Baer : à vrai dire, c'est du von Baer notablement complété et corrigé, puis interprété du point de vue de l'évolution. Morgan abandonne carrément l'opinion de ceux qui cherchent dans les stades embryonnaires une réplique, même abrégée et modifiée par adaptation, de formes *adultes* inférieures. Et l'une des raisons qui semblent l'avoir particulièrement impressionné est la suivante. On sait que certains organes apparaissent, sous une forme ou sous une autre, au cours du développement embryonnaire de tous les vertébrés ; telle, par exemple, la corde dorsale ; telles encore les fentes pharyngiennes. Or, s'il était vrai que l'ontogénèse répète une série de formes ancestrales adultes, voisines des types inférieurs actuels, il faudrait que l'époque d'apparition des répliques embryonnaires fût d'autant plus tardive que leur prototype se rattache à une classe plus élevée du règne organique. Mais que constate-t-on ? La notochorde, par exemple, qui se dégage assez tôt, chez l'Amphioxus, par évagination de la paroi dorsale du tube digestif, et prend petit à petit la forme qu'elle gardera chez l'adulte, se constitue *également tôt* chez les mammifères, c'est-à-dire qu'elle y apparaît en un stade correspondant à peu près à son stade d'apparition chez l'Amphioxus : qu'est-ce donc qui se trouve « récapitulé » ? l'Amphioxus adulte ou l'embryon d'Amphioxus ? La même question se poserait à propos des fentes branchiales ou pharyngiennes : Morgan attire l'attention sur leur apparition extrêmement précoce chez les animaux supérieurs. « En fait, écrit-il, elles apparaissent aussi tôt chez le mammifère que chez la salamandre ou chez le poisson ; dès lors si nous allons supposer que leur aspect, chez le mammifère, rappelle un stade amphibie adulte, notre assertion prend un air de paradoxe, puisque aussi bien ce stade n'apparaît

pas plus tard chez les mammifères que chez les amphibiens eux-mêmes (1). »

Ces exemples suffiront, croyons-nous, à faire saisir la véritable portée des conclusions générales que Morgan formule à ce propos : « Pour conclure, dit-il, l'idée que des stades ancestraux adultes se sont trouvés condensés dans l'embryon et que cet embryon les « récapitule » partiellement, cette idée me paraît fausse en principe. Cette ressemblance entre les embryons des formes supérieures et les adultes des types inférieurs, est due, comme j'ai essayé de le montrer, à la présence, dans les embryons des groupes inférieurs, de certains organes qui persistent dans les formes adultes de ces groupes. Seules les formes embryonnaires de deux groupes peuvent être légitimement mises en parallèle; et leurs ressemblances s'expliquent par l'hypothèse d'une forme ancestrale adulte commune, qui précisément aurait présenté dans son développement embryonnaire ces stades similaires : ceux-ci auraient été transmis de là aux lignes divergentes des descendants.

» Puisqu'on en est venu à associer la théorie de la récapitulation à l'idée d'une récurrence de formes ancestrales adultes, il y aurait peut-être avantage à un changement de terminologie. Aussi, pour exprimer que les embryons des groupes supérieurs répètent, en les modifiant, les formes embryonnaires des groupes inférieurs, je suggère le terme : théorie de la répétition embryonnaire, ou, plus brièvement : *repetition theory* (2). »

Cette conception de Morgan ne laisse pas que d'entraîner certaines conséquences, et, entre autres, un *surcroît de complexité du problème phylogénétique*.

(1) Th. H. Morgan, *Evolution*, etc., p. 64.
(2) *Op. cit.*, p. 83.

A supposer que les stades embryonnaires rappellent les caractères morphologiques d'ancêtres adultes, il n'était déjà pas si facile de reconstituer les traits de ces ancêtres au moyen de formes actuelles; mais enfin, les conjectures étaient parfois plausibles et s'emboîtaient passablement les unes dans les autres; et puis elles recevaient de temps à autre une illustration brillante de la paléontologie. Les couches de terrain renfermant les ancêtres authentiques et la succession de ces couches permettant, du moins dans les grandes lignes, une sériation irrécusable des fossiles, on pouvait croire, devant un accord des annales embryonnaires et des données paléontologiques, que l'on tenait — ou peu s'en faut — tel échelon d'une lignée ancestrale. Mais qui n'admet, comme Morgan, qu'une répétition des seuls stades embryonnaires ancestraux, complique le problème de nouvelles nécessités de comparaison et par conséquent de chances d'erreur nouvelles. La comparaison d'embryogénèse à embryogénèse permet sans doute d'établir des groupements naturels, mais elle ne fournit qu'un signalement assez flou de l'ancêtre adulte. Puis, quand cette comparaison des embryogénèses est impossible, combien hasardeuses ne deviendront pas les analogies établies directement entre une forme adulte et un stade embryonnaire? Elles ne seront légitimes qu'en vertu de la ressemblance présumée entre un embryon et l'adulte correspondant. Dès lors, l'interprétation des restes fossiles par comparaison avec des stades d'ontogénèse perd, elle aussi, une partie de sa valeur.

Pour nous, il nous semble que la théorie de Morgan serre les faits de plus près que la « loi biogénétique » entendue en un sens trop simpliste. Et nous ne regretterions pas de voir le problème phylogénétique se compliquer, si le sentiment de cette difficulté pouvait

inspirer à quelques zoologistes un peu de modestie intellectuelle, sans empêcher d'ailleurs les travailleurs consciencieux d'exercer leur sagacité en un ordre de questions qui resteront longtemps passionnantes.

Au point de vue des *causes* qui déterminent les similitudes embryonnaires, Morgan, comme Haeckel, fait la grande part à l'hérédité, sans cependant exclure d'autres facteurs.

§ 2. Le Pr Hertwig (de Berlin) s'élève, lui aussi, contre une acception trop simpliste de la loi biogénétique ; même, en un certain sens, ses réserves vont plus loin que celles de Morgan. Non seulement l'embryon *ne répète pas des stades ancestraux adultes ; il ne répète même pas*, à proprement parler, *des stades ancestraux embryonnaires.*

Reprenons la comparaison qui assimile la phylogénèse à une chaîne dont les ontogénèses successives seraient les anneaux. Pour Haeckel, chaque anneau est constitué par une série de stades ontogénétiques dont chacun reproduit un stade *adulte* des anneaux précédents. Pour Morgan, les stades embryonnaires qui composent un anneau particulier correspondent uniquement à des stades *embryonnaires* d'anneaux antérieurs. Pour Hertwig, qui introduit ici la considération de l'idioplasme, le *premier* stade d'une embryogénèse déterminée est à lui seul le correspondant de *l'ontogénèse précédente tout entière.*

En effet, ce premier stade, cette cellule initiale dont la segmentation va former l'embryon, n'est pas une cellule quelconque ; elle n'est pas même l'équivalent des cellules initiales des ontogénèses antérieures ; elle est plus que cela, car elle contient toutes les virtualités morphogènes, tous les « Anlage », qui représentent en puissance la succession complète des formes de l'ontogénèse immédiatement précédente.

La formule de la phylogénèse pourrait s'écrire :

$$A + A^1B + A^2B^1C + A^3B^2C^1D + A^4B^3C^2D^1E + \ldots$$

A chaque ontogénèse nouvelle, l'indice morphologique des stades apparemment correspondants varie dans une proportion notable mesurée par le progrès qu'a réalisé l'ontogénèse précédente. Ainsi, dans la formule ci-dessus, le quatrième chaînon doit s'interpréter comme suit : A^3 = non pas A ou A^1 ou A^2, mais A^2B^1C ; de même B^2 = non pas B ou B^1, mais B^1C.

Et la raison en est bien simple. C'est que la cellule-œuf, suivant l'expression de von Baer, n'est autre chose que « l'animal lui-même non encore développé », abstraction faite évidemment des légères perturbations qui pourront survenir au cours du développement. « Dans chaque ontogénèse, écrit O. Hertwig, l'individu ne fait littéralement autre chose que parcourir *son propre cycle* de développement. Il reste un seul et même individu, qu'on le considère au stade de cellule-œuf, de blastula, de gastrula ou sous l'une quelconque des autres formes qu'il revêt (1). »

Et ceci est évident.

Que si, maintenant, on veut adapter cette proposition évidente à la théorie générale de la descendance, il faudra dire que « la cellule qui, dans chaque anneau de la chaîne phylogénétique, marque le début d'une nouvelle ontogénèse devient de plus en plus riche en virtualités (en « Anlage ») nouvelles et par là même de plus en plus différente, dans son essence, de la cellule-souche d'origine » (2). Au point de vue de leur contenu morphogène, on peut comparer les cellules-œufs qui se succèdent dans une même chaîne phylogénétique à un

(1) Hertwig, *op. cit.*, p. 160.
(2) Id., *ibid.*, p. 159.

capital modeste placé à intérêts composés et pouvant ainsi croître indéfiniment.

Et ceci encore, dans l'hypothèse de l'évolution, est évident, à condition toutefois qu'on évite de trop préciser — et surtout de localiser dans différentes parties de la cellule-œuf — ce « contenu morphogène » ou cet « idioplasme ».

Il y a donc entre l'ontogénèse et la phylogénèse cette différence fondamentale que la première ne fait que *développer ce que son point de départ contient déjà* sous une forme ou sous une autre, tandis que la seconde réalise des *acquisitions nouvelles*, qui font accession au patrimoine héréditaire de la lignée. Les *causes* qui fixent tel caractère dans la série phylogénétique ne sont pas comparables à celles qui provoquent l'apparition du caractère correspondant chez l'embryon. On conçoit donc que l'analyse du développement embryonnaire impose la considération, non seulement de l'*hérédité*, qui condensa certaines virtualités dans la cellule-œuf, mais encore du *mécanisme* qui permet à ces virtualités de se déployer dans les différents stades de l'ontogénèse.

Mais peut-être ces considérations générales demandent-elles, pour prendre leur pleine valeur, d'être illustrées par quelques exemples concrets. Ceux-ci nous permettront d'ailleurs de préciser du même coup la pensée de Morgan et celle d'Osk. Hertwig.

(*A suivre.*) J. M., S. J.

ORIENTAUX ET OCCIDENTAUX

EN ESPAGNE

AUX TEMPS PRÉHISTORIQUES [1]

LA DÉCOUVERTE DU BRONZE

La dernière phase de l'époque néolithique en Espagne est contemporaine de l'âge du bronze dans d'autres pays : l'absence de ce métal obéit à une cause locale, et l'emploi du cuivre sans étain n'est pas la caractéristique d'un stade métallurgique antérieur à la découverte du bronze.

Le cuivre est considéré comme le plus anciennement connu des métaux usuels. Cette opinion se base sur deux ordres de raisonnements : le premier, théorique, est tiré de l'existence du cuivre natif et de l'abondance de ses minerais, faciles à traiter ; le second, de la priorité du cuivre sur les autres métaux dans les trouvailles préhistoriques en Occident.

Déjà M. Much a montré que le premier cuivre utilisé dans l'ancien monde n'était pas natif, mais obtenu par la réduction de ses minerais : la découverte n'est donc pas aussi simple qu'on l'admet en partant de l'hypothèse du métal natif. Quant à son extraction des minerais, on passe bien légèrement sur les difficultés qu'elle présen-

(1) Voir la Revue des Questions scientif., octobre 1906, p. 529.

tait aux préhistoriques. M. Much cite un exemple de production accidentelle de cuivre par une négligence dans le grillage des pyrites; mais celles-ci se trouvaient dans des conditions que le hasard ne peut réaliser; de plus, les minerais que je trouve dans les stations préhistoriques sont des carbonates, non des pyrites. La meilleure preuve des difficultés qu'éprouvaient les anciens à réduire ces minerais, se trouve dans leurs procédés métallurgiques eux-mêmes, dont j'ai recueilli des traces abondantes. J'en ai déjà dit quelques mots, mais il convient d'y revenir.

Nous avons d'abord de nombreux morceaux de minerai carbonaté; ensuite des quantités de petits fragments fondus, mais non à l'état de scories : ce sont des espèces de mattes contenant des particules de cuivre métallique; enfin, sur le sol des maisons s'étalent souvent des lits minces formés de tout petits fragments de ces mattes : c'est le résultat du concassage qu'on leur faisait subir pour en extraire les parcelles de métal, ce qui se faisait probablement par lavage. Une fois le cuivre obtenu en petits fragments, il fallait le refondre; pour cela il faut une température de 1035° qu'on ne peut produire sans un dispositif spécial. Dans les maisons des métallurgistes, j'ai rencontré des accumulations de singuliers objets en terre cuite : ils ont la forme de cornes ou de croissants, à section ronde, de 20 centimètres de longueur; les extrémités sont percées d'un trou; leur terre est poreuse, légère, réfractaire à la température de fusion du cuivre; ils portent, surtout sur leur face interne, des traces de feu violent; ils étaient d'ailleurs entourés de cendres et de terre friable calcinée. Non loin d'un de ces groupes d'objets, se trouvait une sorte de creuset allongé, en terre cuite; sa face intérieure porte un enduit de terre spéciale, probablement réfractaire, et des restes de cuivre. L'examen de ce creuset et de fragments d'autres montre qu'on y

fondait du cuivre en le chauffant par la partie supérieure, c'est-à-dire par le contact direct des gaz chauds avec le métal. De tout cela je déduis que les croissants servaient à former des arcs au-dessus des creusets, et que, alignés en nombre et recouverts d'argile, ils constituaient la voûte d'un petit four à réverbère; le feu se faisait à un bout, et à l'autre devait se trouver une cheminée, construite peut-être avec des arcs semblables aux précédents ou de toute autre façon. Les trous des arcs servaient sans doute à les suspendre pour les sécher. Le métal, fondu au contact de la flamme, prenait la forme du creuset; il est difficile de dire si on le laissait refroidir ainsi, ou si on le versait dans des moules : le bec du creuset semble construit en vue de cette dernière solution.

On voit par tout ceci que l'extraction du cuivre de ses minerais, loin d'être simple, constituait pour les préhistoriques une opération laborieuse et compliquée, qu'ils n'ont pu réaliser qu'après une longue expérience. Cette constatation est de la plus grande importance au point de vue de la première découverte des métaux.

Le second ordre de faits sur lequel se fonde l'antériorité du cuivre, c'est que, dans nos pays occidentaux, c'est bien en effet ce métal, pur ou allié à l'étain, qui se rencontre exclusivement aux époques de transition de la pierre aux métaux. Le fait est largement démontré; aussi la raison serait décisive, si on démontrait que la métallurgie est née en Occident. Mais cette démonstration n'est pas faite, et dans la première partie de cette étude j'ai essayé de prouver le contraire, c'est-à-dire que la métallurgie a été apportée en Occident par les Orientaux.

L'origine de la métallurgie doit être cherchée en dehors de l'Occident et en dehors du cuivre : la distance entre la pierre et le cuivre occidental, pur ou allié à l'étain, est trop grande pour que l'homme ait pu la

franchir sans une étape intermédiaire ou une intervention extérieure.

En Orient, il n'en est pas de même : la priorité est disputée au cuivre par le plomb et l'argent, métaux beaucoup plus faciles à découvrir.

Les tombes préhistoriques d'Égypte, fouillées par M. Flinders Pétrie contiennent, avec les beaux instruments en silex que l'on connaît, d'autres en cuivre, métal qui paraît rare au début, des bijoux d'or et d'argent, rares aussi, mais qui ont été pillés par les violateurs de tombeaux, du plomb, un métal blanc dur, de la galène, de la malachite.

Les anciennes villes d'Hissarlik, de l'âge de la pierre polie, ont du cuivre, de l'or, de l'argent et du plomb.

Les documents historiques des peuples de l'Orient signalent toujours l'argent comme remontant à une très haute antiquité.

Nulle part on ne trouve la preuve de l'antériorité du cuivre au plomb et à l'argent.

Si l'on s'en tient au seul raisonnement, la priorité du plomb est bien plus probable ; il a pour lui toutes les raisons : il est plus abondant ; ses minerais, même aux affleurements, appellent l'attention par leur poids et leur aspect plus que les carbonates de cuivre ; sa métallurgie est beaucoup plus simple, et il fond à 334°, température facile à obtenir, tandis que le cuivre demande 1035°. Si donc on attribue la découverte des métaux au hasard, le doute n'est pas possible : le plomb a dû précéder le cuivre ; et si même on suppose certaines recherches intentionnelles, la conclusion est la même.

Le plomb trouve peu ou pas d'applications chez l'homme primitif : c'est un corps mou, peu solide, se travaillant mal, et ne conservant pas son aspect brillant. Mais il ne faut pas raisonner comme si, à l'âge de la pierre, le métal devait résoudre un problème quelconque, répondre à un besoin existant. Rien dans la

civilisation primitive ne justifie chez l'homme la recherche du métal comme matière utile. Le désir de substances rares ou singulières, la curiosité, des pratiques magiques comme le croit M. Reinach, le simple hasard peut-être, l'ont amené à soumettre des minerais à l'action du feu et à en retirer des métaux; mais ceux-ci étaient au début des substances sans valeur ou du moins sans application pratique : il a pu se passer beaucoup de temps avant qu'on n'ait commencé à en tirer un parti quelconque. Si la fin de notre Néolithique occidental possède des formes de pierre qui semblent appeler le métal, c'est qu'en réalité elles ont été, d'une façon ou de l'autre, inspirées par des armes métalliques déjà existantes.

Au contact de l'air le plomb fondu se couvre d'une couche d'oxyde; si on l'élimine constamment, le plomb se concentre et finit par se réduire à un très petit volume et par ne plus se ternir : ce métal nouveau est de l'argent que presque tous les plombs contiennent en quantité variable; il se laisse aisément travailler en toute sorte d'objets légers et résistants, et son éclat ne s'altère pas rapidement; en un mot, c'est une matière utile, même pour des peuples primitifs. Son extraction du plomb est assez longue, mais ne réclame ni connaissances ni appareils spéciaux, et la grande antiquité de sa découverte se conçoit sans trop de peine.

L'argent ne fond qu'à la température de 1000° et, comme on l'obtenait par petites quantités, on se trouvait devant la difficulté de les réunir en un lingot suffisamment grand pour fabriquer un objet d'un certain volume; la solution de ce problème est de toute simplicité : il suffit de réunir tous les boutons avec un peu de plomb pour qu'ils fondent aussitôt, et le plomb s'élimine par le procédé ordinaire.

L'antimoine est assez répandu sous forme de sulfure dont l'aspect attire l'attention au même titre que le sul-

fure de plomb; son traitement est facile; il fond à 440°. On connaît d'anciens objets en antimoine provenant du Caucase, de la Babylonie, de la Chaldée, de l'Égypte.

L'étain était pour les anciens un plomb comme les deux précédents, mais possédant d'autres propriétés. Il est plus rare que le plomb, mais on exagère beaucoup sa rareté : ses gisements sont assez disséminés, et on peut ne pas les connaître tous; tel gîte qui a pu fournir le métal dans l'antiquité est aujourd'hui trop pauvre pour être exploité avec bénéfice, et reste inconnu; nombreux sont ceux qui, en Europe même, n'ont été signalés que depuis une date récente. Les minerais d'étain n'ont pas l'aspect extraordinaire de ceux de plomb et d'antimoine; mais ils sont venus en quelque sorte au devant de l'homme, parce qu'ils se trouvent d'une façon spéciale dans les alluvions voisines de leurs filons. C'est dans les alluvions que les anciens ont été chercher la plupart des substances minérales qu'ils utilisaient, depuis le rognon de silex jusqu'à la pépite d'or; le lavage des graviers, opération d'une simplicité extrême, découvre aussitôt toutes les matières lourdes et précieuses que charrient les cours d'eau; et précisément l'étain accompagne souvent l'or dans les alluvions. La réduction de la cassitérite est de toute facilité, et l'étain est le plus fusible de tous les métaux : il suffit d'une température de 228°, de la flamme d'une lampe; il est utile par lui-même et on en connaît des applications très anciennes, en dehors de son alliage avec le cuivre.

Revenons maintenant à ce dernier métal. Ses gisements ordinaires sont des filons ou amas de chalkopyrite plus ou moins transformée à l'affleurement en carbonates de cuivre avec oxydes de fer. Jusqu'à présent, j'ai trouvé presque exclusivement des carbonates dans les maisons préhistoriques; leur traitement, nous

l'avons vu, doit être considéré comme difficile pour les anciens. Mais dans les gisements de plomb argentifère, on trouve quelquefois des minerais complexes, sulfo-antimoniures ou arséniures de cuivre et de plomb, plus aisés à fondre que les véritables minerais de cuivre. Il est donc très possible que le traitement des minerais de plomb ait amené la production d'alliages variables de plomb, cuivre et argent : si on a voulu en extraire ce dernier métal par le procédé décrit, on aura obtenu du cuivre avec plus ou moins d'argent. Il semble donc théoriquement probable que la découverte du cuivre soit une conséquence accidentelle de la métallurgie du plomb et de l'argent; j'étudierai autre part la possibilité de la découverte du fer par cette même métallurgie du plomb.

Tout ceci est de la théorie, mais il est certainement rationnel de supposer que la métallurgie a commencé par les métaux faciles, les plombs et l'argent, avant d'arriver au cuivre, difficile à trouver et à travailler; et si la métallurgie est née en Orient, les faits ne contredisent pas cette théorie.

Le cuivre ayant été dès son berceau combiné à d'autres métaux, et devenant difficile à traiter quand on l'en sépare, il est naturel qu'on ait recherché les alliages qui le rendent meilleur. M. de Cala me suggère l'idée qu'on a pu y ajouter intentionnellement du plomb pour augmenter sa fusibilité : on aurait dû alors éliminer ce métal comme pour l'argent, car le cuivre plombeux est de mauvaise qualité. Mais on n'a pu tarder à faire la même expérience avec l'étain, et à constater la grande supériorité du bronze. C'est à partir de ce moment que le cuivre est devenu un métal de grande valeur pour l'industrie.

Parmi les plus anciens objets en cuivre, il y en a beaucoup, même en Orient, qui ne contiennent pas d'étain, et dans certains pays il semble qu'on ait ignoré

le bronze pendant un temps plus ou moins long. Cela ne contredit pas ce que je viens de dire. L'Orient est vaste : la métallurgie ayant pris naissance chez un peuple disposant d'étain, a pu passer chez d'autres qui ne pouvaient se le procurer : nous avons vu une nation connaissant depuis longtemps le bronze, introduire en Espagne l'usage du cuivre ; le même fait a pu se produire partout. Dans ces cas il s'est développé un véritable âge du cuivre qui, pour le pays où il se produit, constitue un pas en avant ; mais au point de vue général de la marche de l'humanité, ce n'est pas un progrès, et les trouvailles d'objets en cuivre peuvent bien résoudre la question de l'introduction du bronze dans un pays déterminé, mais elles laissent debout le problème de sa première découverte.

En somme, si l'Orient est pauvre en étain, ce n'est pas une raison pour qu'il ne l'ait pas trouvé : il connaissait des substances autrement rares et mettait son luxe à les posséder. Ce que cette rareté explique c'est que, après sa découverte, le bronze lui-même reste un métal rare et plus ou moins localisé ; elle explique aussi qu'au moment où les besoins de l'industrie, de la guerre surtout, en réclamaient de jour en jour de plus grandes quantités, les anciens ont partout activement recherché des gîtes d'étain, et sont arrivés à découvrir ceux d'Occident. On se demande parfois si cela est possible alors que les indigènes ne les exploitaient pas antérieurement ; c'est cependant ce que nous faisons aujourd'hui en Afrique pour bien des substances que les habitants n'utilisent pas. C'est une loi générale que lorsqu'un peuple va au loin chercher des produits naturels en échange d'objets fabriqués, c'est qu'il est beaucoup supérieur à l'indigène, dont il n'a rien à apprendre. C'est le cas des Phéniciens s'approvisionnant d'étain aux Cassitérides.

L'AGE DU BRONZE. PREMIÈRE PHASE.

Quelle que soit l'importance de la présence ou de l'absence de l'étain dans les cuivres, les conclusions chronologiques qu'on peut en tirer ont une valeur purement locale : l'étude de ce que j'appelle l'âge du bronze en Espagne nous en fournira une nouvelle preuve, car les deux premières étapes de cet âge ont comme métal usuel constaté jusqu'à présent, le cuivre; la première exclusivement, la seconde en proportion supérieure au bronze.

La fin du Néolithique correspond à l'apogée de la puissance sidonienne en Occident : ce fut la période la plus lucrative du commerce de l'argent, antérieure à la fondation de Cadix.

L'âge du bronze débute en Espagne par la destruction de l'empire phénicien.

Lorsqu'on compare les mobiliers funéraires des deux époques, la différence est considérable et ils se distinguent les uns des autres sans la moindre hésitation. Dans quelques cas rares, il y a mélange, parce que la sépulture a continué à être utilisée sans interruption. Les seuls objets dont l'examen laisse l'impression d'un passage graduel, sont les outils et les armes de métal. Celui-ci est toujours le cuivre; il a parfois un aspect qui le fait prendre pour du bronze, et en effet l'analyse montre qu'il n'est pas pur : mais c'est un bronze d'arsenic, non d'étain. Dans le pays abondent les minerais complexes de plomb, cuivre, argent, antimoine et arsenic; les bronzes arsénieux ont donc pu se produire naturellement; mais il est probable qu'on en a aussi fabriqué intentionnellement.

Les haches et les épingles ou poinçons conservent leurs formes simples; les flèches à longue soie sont plus communes; aux poignards s'ajoute le type fixé au

manche par des rivets. Avec la généralisation de l'emploi du métal on voit apparaître les pierres à aiguiser en schiste, avec un ou plusieurs trous à chaque extrémité.

Dès le début de l'âge du bronze, l'abondance des bijoux métalliques contraste avec leur absence au Néolithique. Ce sont des lames d'or enroulées en tubes ou en hélices, ou des fils de cuivre et d'argent formant des anneaux fermés ou des spires à extrémités libres. L'argent est parfois allié au cuivre : une analyse renseigne 12 p. c. de ce dernier métal. Deux pendants d'oreilles sont en plomb doré.

Dans la céramique aussi il y a un changement considérable. La pâte est fine, la surface noire et soigneusement lissée. Une des formes est assez semblable aux vases caliciformes à panse carénée, surtout à ceux du Ciempozuelos et du Portugal; mais la carène est plus accusée; les coupes larges et basses, à bords rentrants se retrouvent aussi au Néolithique; mais il s'y ajoute des exemplaires munis d'un pied; celui-ci est parfois large : d'autres fois il s'étrangle à la jonction avec la coupe, et produit des pièces d'une élégance irréprochable.

Il y a donc certains rapports entre les céramiques des deux époques, autant par les formes que par la technique de la pâte et sa couleur; mais ce qui établit entre elles une distance considérable, c'est l'absence d'ornementation sur celle de l'âge du bronze, qui contraste avec la richesse des décors de Ciempozuelos et des autres localités de la Péninsule.

Dans l'architecture funéraire nous ne voyons pas de changement : je puis citer au moins une coupole néolithique, celle de Belmonte, qui a continué à être utilisée, et dans la nécropole de Los Eriales, on trouve des dolmens des deux époques.

La place forte de Los Millares qui avait une importance si considérable au Néolithique, a été abandonnée à l'âge du bronze.

En résumé, les liens qui unissent les deux civilisations sont les suivants : formes primitives des armes et outils de cuivre; certaine ressemblance générale dans la poterie; continuation des monuments funéraires mégalithiques et peut-être des coupoles. Ce dernier fait est celui qui a le plus de signification positive : il nous dit que c'est, au moins partiellement, la même population qui continue à occuper le pays.

Mais les profondes différences ont une portée beaucoup plus considérable; les principales sont :

La disparition de tout ce qui, au Néolithique, s'expliquait par la présence des Phéniciens : œufs d'autruche, parfums, ambre, callaïs, poulpes ailés, triangles sexuels, bipennes, idoles de toutes espèces.

La disparition de la céramique ornée, si caractéristique, et qui constituait un art supérieur à tout ce qu'on trouve pendant longtemps dans l'Europe occidentale.

La disparition de cette merveilleuse industrie du silex.

L'abandon de Los Millares, porte orientale de la Turdétanie pour les peuples arrivant par la Méditerranée.

L'utilisation sur place des produits du sol, or et argent, que les Phéniciens exportaient à l'époque précédente.

Apparition d'une céramique nouvelle, et de la mode des bijoux métalliques.

Il serait difficile de constater plus sûrement la destruction d'une civilisation, son remplacement par une autre, et l'absence d'une période transitoire qui expliquerait le changement par une évolution sur place.

L'AGE DU BRONZE. DEUXIÈME PHASE

A cette seconde partie de l'âge du bronze appartiennent les nombreuses acropoles que nous avons décrites dans cette Revue en 1888 (1). Elle n'est pas autre chose

(1) Tome XXIII, p. 5 et p. 368.

que le plein développement, l'apogée de la civilisation que nous venons d'étudier; ce développement, elle le doit à elle-même : aucun apport extérieur n'y a contribué; sa caractéristique paraît être au contraire un isolement très marqué.

La principale innovation consiste dans le changement des rites funéraires : on ne dépose plus les ossements des morts dans des sépultures communes, dolmens ou coupoles formant des nécropoles séparées des villes; mais on enferme les cadavres isolément dans des cercueils de pierre ou de terre cuite, à l'intérieur des villes, sous le sol des maisons, dans l'épaisseur des murs; on les laisse revêtus de leurs habits et avec leur équipement habituel : hache et poignard pour les hommes, couteau et poinçon pour les femmes; on y ajoute leurs parures et un quartier de viande.

Il est probable que les villes de la première phase ont continué à être habitées pendant la seconde : il n'y a donc pas de différence à établir à ce sujet entre les deux époques; ce qui caractérise ces villes, c'est qu'elles occupent de nombreux sites escarpés, disséminés par tout le pays, très souvent éloignés des voies de communication; leurs citernes et leurs galeries souterraines pour pénétrer jusqu'aux sources d'eau, montrent qu'elles étaient préparées pour soutenir des sièges.

Le travail des métaux a fait certains progrès; il n'est pas impossible que le bronze fût connu pendant la première époque; mais il n'a pas été constaté, tandis que pour la seconde il y a un objet de bronze pour deux de cuivre; l'argent pur ou cuivreux et l'or continuent à être en usage; le plomb n'est apparu que sous forme de petits lingots et de litharge provenant de la désargentation. Quant aux formes des objets, en général il y a très peu de changements : le tranchant des haches s'élargit; les poignards s'allongent et

arrivent à être des épées sans perdre leur forme et leur système d'attache par des rivets; les épingles ou poinçons, les ciseaux sont de forme rudimentaire; les flèches ne sont pas fréquentes et ne présentent rien de nouveau; une arme spéciale a été créée : c'est la hallebarde, une sorte de hache de combat à extrémité pointue, fixée à un manche transversal par une large base et de solides rivets; ceux-ci, comme pour les couteaux ou poignards, sont parfois en argent ou alliage d'argent, de cuivre, d'étain et de plomb. Les bijoux sont en général de simples anneaux fermés ou des spires à bouts libres, comme précédemment; quelques ornements nouveaux, toujours simples, apparaissent; les plus remarquables sont les diadèmes en argent, bandeaux unis, ou ornés de points, ou d'une sorte de fleuron en forme de disque réuni au bandeau par une courbe qui rappelle celle des coupes à pied.

La céramique est la même; les vases carénés deviennent seulement un peu plus élégants et un type nouveau s'ajoute aux précédents : il a la forme d'un œuf coupé par le gros bout et muni d'un rebord; ses dimensions sont assez grandes; jusqu'à présent je ne l'ai pas trouvé dans les dolmens, mais je n'oserais pas tirer de conclusion de ce fait négatif qui provient peut-être de l'insuffisance des données; chaque fois, en effet, que le nombre de celles-ci a augmenté, il a diminué la différence entre les mobiliers des deux périodes.

Le silex ne fournit plus que de petits éléments de scies qui, placés bout à bout dans un manche courbe, formaient des faucilles; on ne les trouve que dans les maisons, et à cause de cela celles des deux époques se confondent; j'en ai de très rares exemples datant du Néolithique.

Les grains de collier, dont j'ai peu d'exemplaires datant de la première phase, sont ici très abondants; la grande masse est faite de serpentine vert foncé et

d'os; ces deux substances alternaient et le contraste de leur couleur faisait leur caractère ornemental; elles sont, comme on le voit, de peu de valeur; la serpentine noble est exceptionnelle: il s'en trouve aux deux époques; son vert brunâtre est loin d'avoir l'éclat du vert pomme de la callaïs. Les coquilles et les métaux fournissent aussi leur contingent aux colliers, ainsi que les dents d'animaux. Il faut citer particulièrement quelques rares petits tubes en verre bleu et vert, cannelés. Avec l'ivoire d'un peigne de forme grossière, ils constituent les seuls objets qui rappellent la proximité probable des Phéniciens.

ORIGINE DE LA CIVILISATION DU BRONZE

Quoique nettement distinctes, les deux premières étapes de l'âge du bronze forment un ensemble qui nous présente le tableau complet d'une seule civilisation. Comparons-la à celle du Néolithique.

La stratégie de cette dernière obéit à un plan que nous n'avons pas de peine à comprendre : la ville de Los Millares, qu'elle ait été au pouvoir des indigènes ou des Phéniciens, était la clef de la Turdétanie centrale; elle gardait le chemin qui la reliait à la mer. En dehors d'elle, il y a d'autres lieux fortifiés, mais aussi beaucoup de petits villages très mal défendus. Au lieu de cela nous voyons à l'âge du bronze une foule de villes disséminées partout, plutôt loin des chemins praticables, et enfoncées dans les replis des montagnes, où elles occupent des rochers escarpés que leurs remparts rendent encore plus difficiles à escalader. L'effort dépensé dans ces constructions est, au total, plus grand peut-être qu'au Néolithique; mais il est divisé et sans utilité pour la défense du pays, car rien n'indique l'existence d'un plan stratégique d'en-

semble, d'une union de toutes les forces contre un ennemi commun; on ne voit d'autre préoccupation que celle de la sécurité personnelle. Une modification profonde s'est donc produite : au Néolithique une grande portion de l'Espagne était sous une domination unique, puissante et bien organisée; à l'âge du bronze toutes ces petites places fortes isolées donnent l'impression du manque d'entente et d'ensemble, de luttes de ville à ville, de tribu à tribu.

Au commencement de l'âge du bronze, on continue à enterrer les morts dans des maisons mortuaires spéciales, nécropoles voisines des habitations des vivants, mais séparées d'elles; après quelque temps on abandonne cette pratique et on garde les morts sous le sol même des vivants, système à coup sûr étrange et auquel on n'a pu être amené que par des raisons graves. Ces raisons paraissent être les mêmes qui ont déterminé l'isolement de chaque ville derrière ses murs propres: la crainte du pillage; peut-être aussi l'impossibilité, par suite de l'état troublé du pays, de procéder aux cérémonies funéraires propres au rite ancien. On pourrait chercher une raison suffisante dans la valeur des objets métalliques que les morts emportaient; mais cette raison existait partiellement au Néolithique, et elle a existé à tant d'autres époques qui avaient cependant des champs de repos réservés à leurs morts. Il semble donc que le changement des coutumes funéraires provient d'une crainte exceptionnelle des spoliations de sépultures, et corrobore la conclusion amenée par l'examen de la stratégie.

Le commerce pourvoyait les Néolithiques d'Espagne de toute une série de substances exotiques provenant de la Baltique, d'Afrique, d'Asie; il les privait par contre des métaux précieux de leur propre pays, or et argent, et les laissait sans étain. Le tableau de l'âge

du bronze est diamétralement opposé : pas ou presque pas de produits importés, et les métaux et pierres du pays sont utilisés sur place. Cela nous montre d'abord un peuple venant exploiter le pays à son profit, enlevant les métaux en échange de pacotille; et après, un autre peuple, maître chez lui, et n'ayant que peu de relations avec l'extérieur.

La céramique funéraire du Néolithique se compose d'un grand nombre de petits vases grossiers, d'une certaine quantité d'autres mieux faits, de vases en plâtre, d'autres peints ou gravés représentant des symboles de religions orientales, enfin du groupe des poteries fines, ornées, auquel appartiennent les caliciformes, avec l'épanouissement d'un art remarquable. L'âge du bronze a balayé tout cela; il n'en reste rien : les ornements sont si exceptionnels qu'on peut en faire abstraction; il n'y a plus de vases grossiers; tous sont de bonne fabrication, légers, élégants, à surface noire soigneusement lissée, de dimensions plus grandes. Les quelques analogies de forme entre les produits des deux époques ne suffisent pas pour prouver une filiation; en réalité, dans la région du Sud-Est il n'y a pas trace d'une période de transition : la substitution d'une céramique à l'autre est brusque; elle empêche d'attribuer la nouvelle civilisation à la population indigène et réclame l'intervention d'un élément étranger nouveau.

Un des moindres contrastes entre les deux époques n'est pas celui que présente la profusion d'idoles et de dessins symboliques répandus dans les sépultures et les maisons néolithiques du Sud de l'Espagne, et leur absence à l'âge du bronze : pas une sépulture de celui-ci n'en a fourni un seul exemplaire; et dans les maisons on ne peut citer que les pierres qui paraissent être des phallus. C'est la disparition radicale de toute une religion qui avait profondément imprégné le pays.

De cette comparaison il ressort que les Phéniciens,

qui étaient maîtres du Sud de la Péninsule à la fin de l'époque néolithique, en ont été chassés par une puissante invasion qui a répandu la civilisation du bronze sur tout le pays.

Il nous reste à chercher d'où venait cet envahisseur.

La civilisation néolithique a régné sur tout l'Occident de l'Europe avec des caractères remarquables d'uniformité, ce que ne contredisent pas des variétés locales même très accentuées. Ce n'est donc pas de ce côté qu'il faut rechercher l'origine d'un état de choses aussi différent que celui que représente l'âge du bronze. Ce n'est pas davantage en Orient, puisque précisément l'apparition du bronze coïncide avec la cessation de toute influence orientale. On ne peut pas songer à l'Afrique : ce serait une hypothèse au moins gratuite. L'exclusion de toutes ces contrées ne nous laisse plus à interroger que le centre de l'Europe, les régions danubiennes.

L'isolement de l'Espagne aussitôt après l'invasion du bronze — je parle ici surtout du Sud — a donné à sa civilisation un aspect local très particulier, différent de celui des autres pays d'Europe. Il est cependant un de ses arts, celui de la poterie, qui semble avoir conservé le sceau de son origine. Il appartient en effet, comme pendant l'âge du fer, à la grande famille céramique de l'Europe centrale, représentée dans les cités lacustres, dans les cimetières des époques de Hallstatt et de la Tène, et même jusque dans notre ère. Il y a entre tous ces groupes des différences suivant les lieux et les époques, et on ne les confondra jamais; mais ils ont des caractères communs qui les relient entre eux et en font les branches d'un tronc unique. La plupart de ces poteries ont la bouche large, les bords évasés ou rentrants; leur pâte est fine, bien cuite, à surface noire lissée avec soin; les défauts de cuisson y laissent souvent des taches grises, brunes ou rouges; beaucoup

sont ornées, mais un très grand nombre doivent tout leur aspect décoratif à leur profil et à leur surface régulière noire et brillante : c'est surtout en Espagne que l'ornementation fait défaut. Les formes sont naturellement très variables dans l'étendue des pays où on les retrouve, mais il y en a surtout deux qui ont partout servi de points de départ principaux. L'une est essentiellement constituée par un tronc de cône ou un cylindre évasé aux deux bouts et uni par sa base à une calotte sphérique qui passe parfois au cône à extrémité arrondie. Le fond arrondi exige un anneau pour que le vase reste debout; mais parfois on y a ajouté un pied circulaire, ou bien on a rendu une partie du fond plane. L'autre type est celui en œuf coupé par le gros bout et muni d'un bourrelet ou d'une courte partie cylindrique évasée. La base, comme pour les précédents, est ronde, aplatie ou munie d'un pied circulaire. On trouve aussi des coupes larges et basses, à bord rentrant, avec les mêmes variétés de bases. C'est surtout dans les cités lacustres et en Espagne qu'on trouve les fonds arrondis; mais d'un autre côté c'est ce dernier pays qui tient la première place pour la fabrication de coupes à pied très accusé et élevé.

En résumé, la céramique de notre âge du bronze nous éloigne absolument des arts chypriote, phénicien et mycénien; elle se sépare par l'absence d'ornementation, de celle de l'Occident néolithique, et nous conduit en plein dans le domaine de l'art propre aux pays où a régné la civilisation celtique. Son étude nous fait attribuer la destruction de la puissance phénicienne à un peuple qui, dès le XIIe ou XIe siècle, inaugura la série des invasions parties du berceau des Celtes pour venir successivement inonder la Péninsule.

Cet envahisseur devait avoir depuis longtemps dépassé l'âge de la pierre pour en supprimer brusquement l'emploi, alors qu'on était arrivé, en Espagne, à

une si grande perfection dans la taille du silex. Cependant il n'a pas détruit la population existante : il y a eu mélange et adoption des rites funéraires. La disparition de la pierre est d'autant plus étonnante qu'à sa place nous voyons d'abord le cuivre seul, et plus tard le cuivre encore dominant à côté du bronze; c'est donc plutôt un recul qu'un progrès. Je crois qu'il faut, comme dans tant d'autres cas, admettre que le peuple nouveau était, dans son pays d'origine, en plein âge du bronze, et que, en Espagne, la rareté de l'étain l'a forcé à employer le cuivre pur ; s'il n'est pas revenu à la pierre, c'est que celle-ci était depuis trop longtemps sortie de ses habitudes. Je crois aussi que les Phéniciens ont joué un rôle important dans la fabrication et le commerce des instruments en silex, et ainsi s'explique que l'invasion ait amené la mort de cette industrie. La comparaison des céramiques fournit un argument dans le même sens : celle de notre âge du bronze ressemble à celle de l'Europe datant des dernières périodes de l'âge du bronze et même du premier âge du fer : son arrivée en Espagne paraît donc relativement tardive. La rareté du bronze, son absence même au début, montre que le peuple nouveau ne possédait pas le marché de l'étain; il n'y en a pas, en effet, dans les pays d'où on fait venir les Celtes. Cette pénurie d'étain suffit à rendre compte du caractère primitif des armes et outils, car le cuivre est beaucoup plus difficile à travailler que le bronze.

L'invasion de ce peuple, prédécesseur des Celtes de l'histoire, et introduisant le bronze en Espagne, paraît devoir se placer vers le XIIe ou le XIe siècle; elle serait le résultat des mêmes causes qui amenèrent l'invasion dorienne en Grèce, la décadence de Mycènes, la fondation de Cadix. Pendant l'âge du bronze, les Phéniciens ne cessèrent pas de trafiquer avec l'Espagne et l'Occident, mais ils n'étaient plus maîtres de la Turdétanie.

Ils achetaient probablement encore l'argent de ce pays, mais l'objet principal de leur commerce semble avoir été l'étain des Cassitérides.

La grande quantité d'acropoles qui couvrent l'Espagne pendant cette époque fait songer au nom du pays où nous les avons surtout constatées : les peuples du sud-est s'appelaient Bastules, Bastarnes et principalement Bastetans; ce dernier nom semble vouloir signifier habitants des bastides; une de ces acropoles conserve le nom de Bastida; la capitale du pays était Basti. Le nom de Castillans, comme d'autres encore, paraît avoir une origine semblable. La Péninsule est semée de noms de forteresses : castellones, castros, *brigas*, etc. Le contraste entre les abris de troupeaux des pasteurs néolithiques et les acropoles des guerriers de l'âge du bronze a donc laissé des traces jusque dans l'onomastique ibère. La division de la nation espagnole en un grand nombre de tribus constamment en lutte, a été signalée par les auteurs anciens comme une des caractéristiques de la race.

Sur la durée de la civilisation du bronze, nous ne pouvons que donner une appréciation tirée de l'impression que produit un examen d'ensemble. Le fait de ses deux facies successifs, le grand nombre des acropoles, et leur extension dans toute la moitié méridionale de la Péninsule, sinon plus au nord, montrent qu'elle a régné pendant un temps assez considérable, correspondant à une série de générations. Je ne crois pas qu'on puisse lui accorder moins de deux à trois siècles, ce qui mettrait sa fin entre le Xe et le VIIIe siècle; je suis plus tenté d'adopter la dernière date que la première.

LA FIN DE L'AGE DU BRONZE

On a fait dans la Péninsule un certain nombre de trouvailles isolées: haches en cuivre à saillies latérales

ou à talon, et deux anses; dans l'Ouest, haches en bronze à douille et deux anses; en divers lieux, poignards et épées. M. Cartailhac, dans *Les Ages préhistoriques de l'Espagne et du Portugal*, a fait l'étude complète de tous ces objets qui sont malheureusement rares et recueillis on ne sait comment, parfois on ne sait où. Il en a tiré la seule conclusion possible, celle de relations entre la Péninsule et les pays situés au Nord, pendant la fin de l'époque du bronze à laquelle appartiennent ces armes ; quelques-unes peuvent être de l'âge du fer. La date qu'on pourrait leur assigner approximativement, serait le VIII[e] ou le VII[e] siècle.

LE PREMIER AGE DU FER

Si nous avons pu si bien étudier la civilisation du bronze, c'est que ses villes occupaient des sites sans valeur stratégique, qui ont été abandonnés dans la suite; et si on trouve si peu de traces de la fin du bronze et des débuts du fer, c'est peut-être parce que les endroits alors habités ont continué à l'être pendant l'ère historique, qui aurait effacé les vestiges antérieurs. Mais cette pénurie peut aussi s'expliquer par la courte durée de l'âge du fer préhistorique.

Du premier âge du fer je n'ai pu jusqu'à présent étudier que des sépultures. Lors de nos premières découvertes, nous les avions attribuées au Néolithique : elles sont souvent placées dans le voisinage immédiat des maisons de cette époque, sinon au-dessus; leur plan rappelle en petit celui des coupoles ; parfois elles ont été pratiquées dans des dolmens dont le mobilier néolithique a été respecté. Ces faits se sont notamment présentés dans la nécropole de Los Millares. Il y a aussi des grains de collier en calcaire des deux époques qui se ressemblent beaucoup, et sont perforés de la même

façon spéciale. Ces circonstances m'ont fait très longtemps hésiter, et il a fallu un assez grand nombre de sépultures, et la constance de leurs caractères propres pour me convaincre de ce que je vois aujourd'hui clairement : elles appartiennent au premier âge du fer ; elles ont livré très peu de fer : de petits rivets attachés à des plaques de bronze, que nous supposions autrefois introduites postérieurement dans la tombe, et que je considère aujourd'hui comme contemporaines de l'ensemble.

Voici le contenu de ces sépultures, dont les principaux objets sont figurés dans cette Revue (Octobre 1893, fig. 292-306) :

Des squelettes non brûlés à côté de produits de la crémation enfermés dans des urnes munies de couvercles.

Des bracelets de forme généralement ovale, plus rarement ronde ; leurs extrémités libres sont souvent ornées de lignes transversales, obliques ou croisées ; un exemplaire est terminé par deux petites sphères. Des anneaux divers : bagues et pendants d'oreilles ; une boucle a le centre renflé et les bouts minces. Des perles annulaires ou enroulées en spirales. De petites plaques dont l'une porte une ornementation géométrique très simple obtenue par des lignes de points. Tous ces objets sont en bronze, et les plaques portent des rivets en fer.

Des grains de collier en calcaire, agate ou cornaline, et en verre bleu.

De petites plaques rectangulaires en os avec des trous alignés sur la tranche.

Il n'a été rencontré aucun outil, aucune arme.

On trouve des bracelets ornés semblables aux précédents dans les tombes gauloises, et plus encore parmi celles du Larnaud.

Les urnes montrent quelquefois des traces de l'emploi du tour ; un certain nombre sont ornées de dessins en creux ; à part cela, leur technique est celle de la poterie

du bronze : pâte fine, bien cuite, surface noire et bien lissée. Les profils sont classiques de l'âge du fer.

C'est encore de la civilisation celtique que nous rapprochent ces sépultures avec leur mobilier et le rite de l'incinération contemporain de l'inhumation simple. Je crois qu'on peut les rapporter à l'époque de Hallstatt; mais la boucle d'oreille renflée, les perles en agate ou cornaline, et même une forme semblable d'urne cinéraire, se retrouvent dans une nécropole à influence carthaginoise du IIIe siècle : il ne faudrait donc pas remonter trop haut dans le Hallstattien : peut-être au VIe siècle, sinon moins haut encore.

SUITE DE L'AGE DU FER

Les villes fortifiées du Nord du Portugal, telles que Sabroso, représentent la civilisation de la Péninsule peu avant la conquête romaine. M. Cartailhac l'a parfaitement établi dans son ouvrage cité : il y a montré les rapports étroits qu'elle présente avec celle du centre de l'Europe. Ses fibules annulaires se retrouvent dans leur plein épanouissement dans les sépultures de l'époque carthaginoise que je viens de nommer, et qui ne remontent pas au delà du IIIe siècle. Sabroso me semble moins vieux qu'on ne le croit généralement et le caractère pseudo-mycénien de son art n'a pas la portée qu'on veut lui attribuer.

LES COLONIES CARTHAGINOISES ET L'ÉPOQUE HISTORIQUE

Depuis la fin du Néolithique nous avons perdu de vue les Phéniciens, et nous avons vu se succéder en Espagne diverses civilisations venues du centre de l'Europe et auxquelles on peut d'une façon générale donner le nom de celtiques.

Mais les Orientaux n'avaient pas perdu l'Espagne de

vue ; l'histoire nous parle du commerce continu des Phéniciens, des colonies grecques du VIe siècle, et dans beaucoup d'endroits on retrouve des nécropoles du IVe et surtout du IIIe siècle, où abondent les preuves d'influences grecque et carthaginoise.

Ceci est de l'histoire, non plus de la préhistoire; mais comme on peut la reconstruire sans recourir à autre chose que les fouilles, et que ce moyen est celui qui fournit la base de la préhistoire, il est du plus haut intérêt de comparer les résultats obtenus, afin d'apprendre à interpréter ceux des époques plus anciennes.

Après sept ou huit siècles, nous reconnaissons les Phéniciens aux mêmes traits caractéristiques; ils ont fait de notables progrès en art; leurs industries se sont perfectionnées; les routes de leur commerce ne sont plus tout à fait les mêmes; mais nous les voyons toujours arriver sur leurs vaisseaux chargés de marchandises exotiques pour éblouir comme autrefois les indigènes, sans oublier l'éloquence persuasive des armes. Ils vendent des parfums dans de petits flacons d'albâtre plus savamment façonnés qu'à l'époque préhistorique, et auxquels s'ajoutent des fioles en verre; des peignes en ivoire qui, au lieu des anciennes lignes droites, portent des dessins de scènes animées; des œufs d'autruche dont les gravures et peintures plus compliquées conservent cependant un air de famille avec celles de leurs lointains ancêtres. Les grains de collier sont d'élégantes perles de verre bleu ornées de lignes blanches. Sur les idoles le poulpe mycénien a fait place au scarabée; ses bras ont achevé la métamorphose qui en fait des ailes. L'Astaroth primitive est remplacée par des Isis égyptiennes. Ils inondent le marché non plus d'imitations de poteries caliciformes, mais de vases à ornements tirés du répertoire grec ou simplement achetés en Grèce et en Italie, et les écoulent en masse, supplantant sans peine les produits indigènes.

Quant aux armes, ce sont surtout des formes grecques qui se répandent et se mêlent aux types que l'Espagne tenait des âges précédents.

A l'époque néolithique, les Phéniciens avaient été précédés par des peuples du bassin égéen; maintenant leurs successeurs ont à lutter avec la concurrence grecque.

Les seconds comme les premiers sont venus en Espagne surtout pour chercher l'argent. Rien de plus instructif sous ce rapport que la région que j'habite et où je travaille les mines qu'ils ont exploitées pendant leur domination en Espagne. Le village néolithique où j'ai trouvé leurs idoles et les vestiges de leur métallurgie du plomb et de l'argent, est situé près de ma maison, et comme elle sur une colline, au bord du Rio Almanzora, dans la plaine fertile, tout contre les mines d'argent natif de Herrerias, en face de celles de plomb argentifère de Sierra Almagrera. A trois kilomètres, se trouve l'embouchure de l'Almanzora; à côté, sont les ruines de Baria, fondée par les Carthaginois vers le IVe siècle, détruite au IIe par les Romains, puis habitée par eux jusqu'au Ve de notre ère. C'était, comme aujourd'hui, le port d'embarquement des minerais et métaux, de débarquement des effets à l'usage des mines. Comme les modernes, les anciens y avaient des fours à plomb; mais la principale station industrielle était près des mines d'argent.

A côté de Villaricos, s'étend une nécropole où j'ai pu fouiller 250 sépultures de différentes époques.

Le groupe le plus archaïque est formé de fosses rectangulaires et profondes, contenant un ou deux squelettes, chacun avec un œuf d'autruche largement coupé à un bout, orné de peintures et de gravures (Revue des Questions scient., t. XXXIV, p. 562); généralement il y a une grande amphore comme celles de Tharros en Sardaigne; les bijoux, très rares, sont simples et surtout en or.

Un autre groupe est celui des grandes cryptes; les unes tout à fait souterraines, les autres en partie au-dessus du sol : ces dernières sont recouvertes par une voûte encorbellée, maçonnée avec de la terre, les murs sont revêtus de plâtre et de peintures; elles ont un couloir d'accès et des niches. A part leur forme rectangulaire et la perfection du travail, elles rappellent tout à fait les coupoles néolithiques, et, comme elles, renferment des ossements incinérés et d'autres non incinérés; avec cela des œufs d'autruche simplement troués à un bout, des vases divers, des ungüentaria, des strigilles en fer pendues à des anneaux de bronze, des bijoux en bronze, argent et or, de rares monnaies.

Les tombeaux du troisième groupe sont des espaces souvent entourés de dalles revêtues de plâtre; ils renferment de une à dix urnes cinéraires et parfois des cendres non contenues dans des urnes. C'est le groupe le plus nombreux. Quelques urnes ont une forme qui se rapproche de celles de l'âge du fer; d'autres sont couvertes d'ornements peints, bruns ou rouges; il y a enfin des cratères italo-grecs du IIIe siècle. A côté des urnes sont déposées des armes en fer : épées courtes ou sabres repliés; lances, flèches, poignards, boucliers. Parmi les épées il y en a dont la poignée a des antennes : le type dominant est le sabre ondulé, connu par les exemplaires d'Almédinilla, d'Alcacer do Sal, et d'autres nécropoles. La douille de certaines lances est incrustée d'ornements en bronze ou en argent. Les bijoux sont abondants : bagues, pendants d'oreille, colliers, fibules, celles-ci sont principalement des variétés du modèle à anneau, comme à Sabroso; les colliers se composent de perles en verre, agate ou cornaline, coquilles, de scarabées en terre émaillée, et d'amulettes de même substance représentant des Bès, Phtah, Horus, Isis. De petits objets en terre cuite ont la forme de deux cônes unis par leur base, et troués suivant

l'axe : ils ressemblent à des fusaïoles, mais sont plus petits; les astragales d'animaux sont souvent abondantes. Parmi les stèles funéraires qui gisaient dans cette partie de la nécropole, l'une portait une inscription punique, qui, lue par le P. Delattre, renseigne le « Tombeau de Gar Astaroth, fils de Baal-Pilles ».

Je dois m'arrêter un instant aux poteries à ornements peints, bruns et rouges. M. P. Paris qui en a fait une étude très détaillée dans son *Essai sur l'Art et l'Industrie primitive de l'Espagne*, croit y voir des produits ibériques inspirés par une très ancienne influence mycénienne. La revue que nous avons faite des différentes civilisations qui se sont succédé en Espagne nous montre que ces poteries n'ont pas d'ancêtres dans ce pays, et apparaissent brusquement à une très basse époque. Ce qu'il y a de mycénien dans leur ornementation y a été mis par les Grecs eux-mêmes ou par les Carthaginois, et il est même probable que ces vases n'ont pas été fabriqués en Espagne; ils n'ont en tout cas aucun rapport avec l'art ibérique.

Le quatrième groupe de sépultures appartient à l'époque romaine. Ses ruines fournissent des débris de vases représentant toute la succession des types de la période d'occupation des Romains.

Le cinquième groupe est représenté par plusieurs sépultures de Villaricos; mais il l'est mieux dans une autre nécropole de plus de deux cents tombes, située près des mines d'Herrerias. Leur position relativement à d'autres et leurs monnaies de Constantin, les font dater d'au moins un siècle plus tard. Ce sont des fosses étroites et peu profondes contenant ordinairement un ou deux squelettes, parfois davantage, empilés l'un sur l'autre; les objets sont des bracelets et bagues, ronds, en fer, en bronze ou en laiton; des boucles d'oreille en laiton ou en argent, ou en argent allié au cuivre; ce sont de simples tiges rondes : un bout porte un supplément

annulaire dans ou contre lequel vient s'appuyer la pointe de l'autre bout; des épingles à tête munie d'un supplément annulaire comme celui des boucles d'oreille, ou de deux enroulements, ou d'une lentille de verre; des perles en verre de forme et de couleur variables, d'ambre, et de jais; un type caractéristique de celles-ci est un petit prisme à base carrée et aux huit angles tronqués; au centre des quatre faces il y a un cercle avec point central, ornement trouvé aussi sur une cassette en os provenant d'une habitation. La forme des perles de jais, celle des boucles d'oreille avec l'ornement circulaire à point central, se retrouvent en Belgique et en Allemagne dans les tombes du Ve au VIIIe siècle. L'abondance de l'ambre indique aussi une origine septentrionale.

Nous voilà donc, comme à la fin du Néolithique, en présence de la destruction d'un empire puissant, par une invasion venue du Nord. Cette fois nous n'avons pas de peine à retrouver dans l'histoire le nom des envahisseurs : cette nécropole correspond à l'occupation des Visigoths.

Un sixième groupe de sépultures est contemporain du précédent : ce sont de longues amphores, brisées pour l'introduction d'un cadavre d'enfant, puis refermées en remettant les fragments en place ou en y ajoutant des tessons d'autres vases.

Non loin de là j'ai retrouvé les ruines du château arabe de Baira, décrit par Edresi. Parmi les débris reparaissent des tessons avec peintures brunes et rouges, qui, pour la troisième fois, nous font reconnaître une invasion venue de l'Orient.

Par cette revue rapide on peut apprécier le degré de certitude que permet l'étude des objets recueillis dans le sol pour déterminer l'origine des différentes invasions qui ont joué un rôle important dans l'histoire de l'Espagne.

Les plus anciennes, celles de la pierre polie, sont les moins précises, mais on ne peut manquer d'y reconnaître l'influence du bassin égéen depuis une époque très ancienne jusque vers les premiers siècles du second millénaire.

Le tableau de la fin du néolithique, œuvre des Phéniciens cultivant l'Occident à leur profit, reçoit des fouilles une vive lumière.

Non moins clairement ressort l'arrivée du flot celtique, dont la première vague refoule les Phéniciens sur la mer, vers la fin du deuxième millénaire, et dont la dernière, au V[e] siècle, est éclairée par l'aube de l'histoire.

Celle-ci nous raconte le retour offensif des Carthaginois, et la pioche déterre des objets qui nous font reconnaître en eux les descendants des colonisateurs néolithiques.

L'une et l'autre nous montrent leur défaite par les armes romaines, leur commerce ruiné, leurs villes détruites, leur race anéantie.

Les preuves de la chute de l'empire romain et de l'invasion des Barbares se retrouvent aussi dans la poussière des tombeaux.

Enfin la conquête arabe a semé partout des restes faciles à reconnaître.

LOUIS SIRET.

PLANCHE I

PREMIÈRE ET DEUXIÈME DIVISIONS DE L'ÉPOQUE NÉOLITHIQUE : AGE DE LA PIERRE POLIE

La moitié supérieure reproduit les objets les plus caractéristiques de la période d'introduction de la pierre polie et de l'agriculture.

Les petits silex appartiennent à l'industrie indigène antérieure et dérivent directement de l'outillage quaternaire.

1. Nucléus. — 2, 3. Lames de dimensions ordinaires. — 4. Silex destiné à armer un bout de flèche. — 5. Racloir latéral double. — 6. Poinçon. — 7. Pointe oblique. — 8. Lame à coche. — 9. Disque. — 10, 11, 12. Bouts de lames, déchets de la fabrication de trapèzes. — 13 à 17. Trapèzes, outils ou armes caractéristiques de la fin du quaternaire ou début des temps actuels.

Les autres objets, à part peut-être les coquilles servant de perles, sont les témoins de la civilisation nouvelle.

18. Hache en diorite à deux tranchants. — 19. Herminette en fibrolithe. — 20, 21. Pointes en os. — 22. Meule. — 23, 24. Poteries. — 25. Oreille de vase à deux trous verticaux. — 26. Tesson orné.

27. Idole en schiste, du type d'Hissarlik. — 28. Idole semblable (?).

29. Fragment de bracelet en valve de pétoncle. — 30, 31. Perles en test de coquille et pierre. — 32. Perle inachevée. — 33. Coquille percée. — 34, 35. Dentales. — 36. Fragment de test roulé. – 37. Fragment de bracelet en marbre. — 38. Section de bracelet en marbre. — 39. Fusaïole en terre cuite.

Les objets de la moitié inférieure correspondent à une phase plus avancée de cette civilisation.

40-42. Les anciens outils de silex sont remplacés par des formes qui en dérivent par perfectionnement ; les lames sont plus grandes ; les trapèzes ont acquis un profil qui s'achemine vers la pointe de flèche classique.

43-44. Deux flèches de l'époque suivante, dessinées ici pour montrer un procédé de fabrication identique au procédé employé pour les trapèzes.

45. Vase à quatre oreilles trouées horizontalement. Ces formes pansues à col restent fréquentes pendant tout le néolithique et disparaissent après.

46. Forme d'idole comme à l'époque précédente. — 47 à 53. Idoles caractéristiques de la deuxième phase.

54 à 56. Perles de stéatite, en forme d'olive, caractéristiques aussi de la deuxième phase.

— Échelles : les poteries $\frac{1}{8}$ — la fusaïole n° 39 $\frac{1}{4}$ — le reste $\frac{1}{2}$.

— Pour plus de détails, voir Revue des Questions scientifiques, t. XXXIV, pp. 506-516.

PLANCHE I

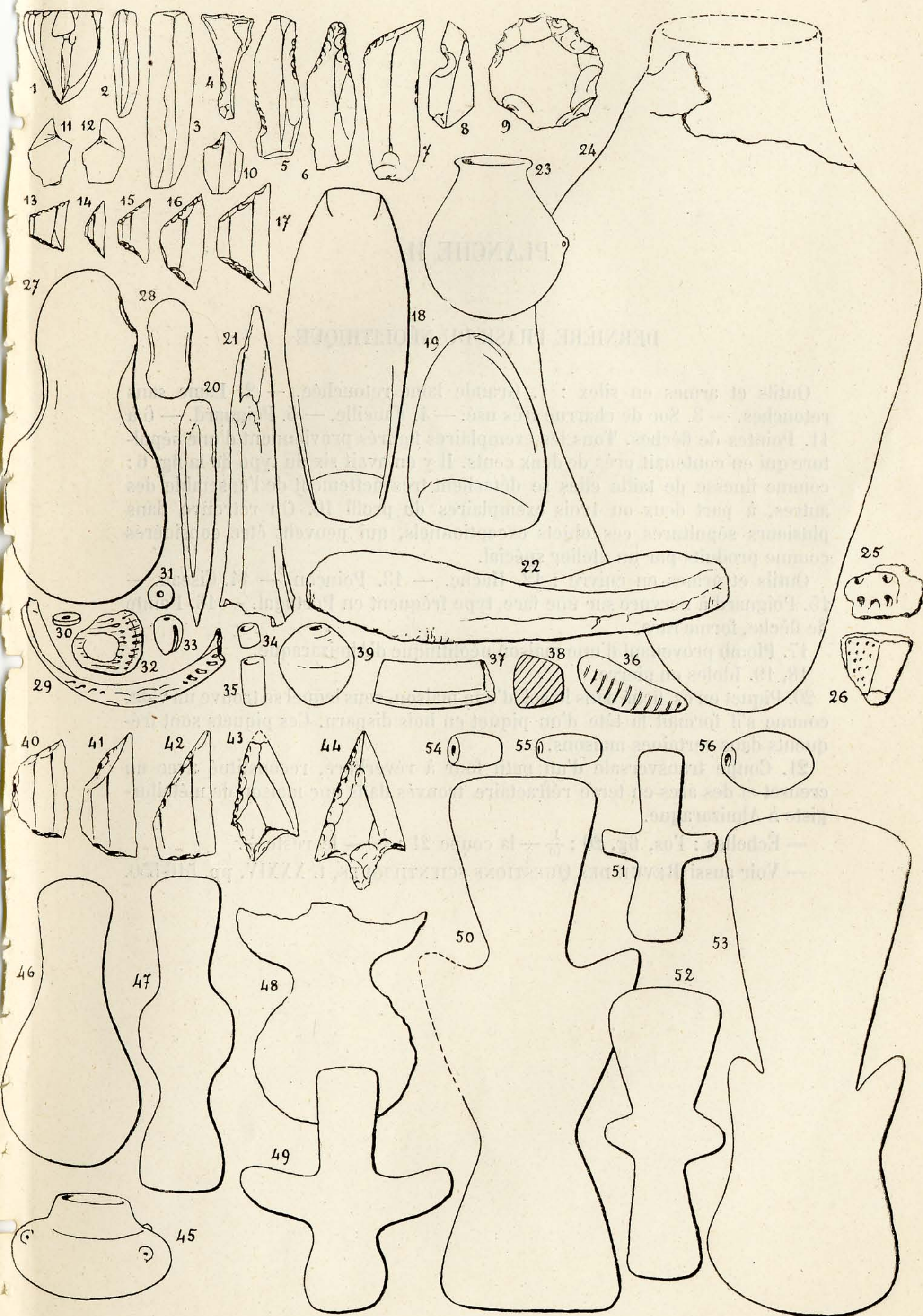

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56

PLANCHE II

DERNIÈRE PHASE DU NÉOLITHIQUE

Outils et armes en silex : 1. Grande lame retouchée. — 2. Lame sans retouches. — 3. Soc de charrue très usé. — 4. Faucille. — 5. Poignard. — 6 à 11. Pointes de flèches. Tous les exemplaires figurés proviennent d'une sépulture qui en contenait près de deux cents. Il y en avait six du type de la fig. 6 : comme finesse de taille elles se détachent très nettement de l'ensemble des autres, à part deux ou trois exemplaires du profil 10. On retrouve dans plusieurs sépultures ces objets exceptionnels, qui peuvent être considérés comme produits par un atelier spécial.

Outils et armes en cuivre : 12. Hache. — 13. Poinçon. — 14. Ciseau. — 15. Poignard à nervure sur une face, type fréquent en Portugal. — 16. Pointe de flèche, forme rare.

17. Plomb provenant d'une maison néolithique d'Almizaraque.

18, 19. Idoles en pierre.

20. Piquet en os, fiché dans le sol d'une maison, sous lequel se trouve un vide, comme s'il formait la tête d'un piquet en bois disparu. Ces piquets sont fréquents dans certaines maisons.

21. Coupe transversale d'un petit four à réverbère, reconstitué avec un creuset et des arcs en terre réfractaire trouvés dans une maison de métallurgiste à Almizaraque.

— Échelles : l'os, fig. 20 : $\frac{1}{10}$ — la coupe 21 : $\frac{1}{4}$ — le reste $\frac{1}{2}$.

— Voir aussi Revue des Questions scientifiques, t. XXXIV, pp. 516-550.

PLANCHE II

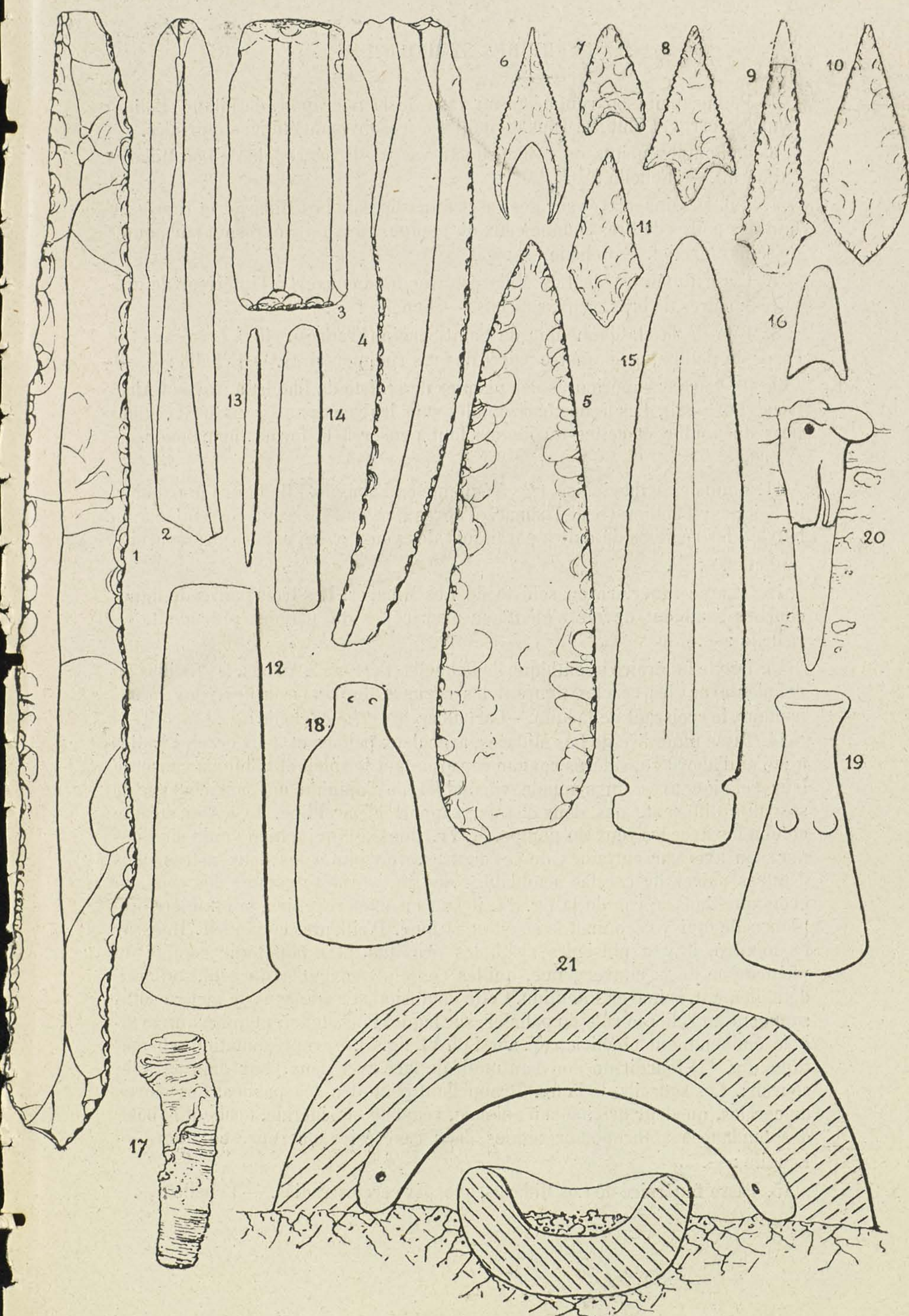


PLANCHE III

FIGURES SYMBOLIQUES

1. Poulpe peint en rouge sur un vase de la nécropole de Pitané (Eolide) d'après Perrot et Chipiez. Tous les motifs accessoires ont été ici supprimés.

2, 3. Poulpes peints en rouge sur un vase de la nécropole de Los Millares (Almérie). — Échelle : $\frac{1}{2}$.

4, 5, 6. Dessins gravés sur des vases funéraires de Los Millares, et représentant des paires de bras comme ceux du poulpe. Ceux de 4 et 6 sont surmontés de seins en relief. — Échelle : $\frac{1}{2}$.

7. Tasse funéraire de Los Millares, avec fond couvert à l'intérieur de gravures : paires de bras, yeux, sourcils. — Échelle : $\frac{1}{3}$.

8. Tête de la statue-menhir de Saint-Sernin (France) : elle a les yeux et le corps du poulpe, avec quatre paires de bras rudimentaires. — Échelle : $\frac{1}{10}$.

9, 10. Parties supérieures des plaques de schiste de Idanha a Nova et Alcobaça (Portugal). Les lignes horizontales sous les yeux paraissent dérivées des bras du poulpe et celles du dessus font penser à la forme du palmier. — Échelle $\frac{1}{2}$.

11. Monnaie carthaginoise, très fréquente en Espagne. Elle figure le palmier, le Seigneur-Palmier (Baal-Thamar, d'après Berger). Le tronc ressemble à un bétyle : les régimes de dattes paraissent des yeux, et les palmes des sourcils. — Échelle : $\frac{4}{5}$.

12. Plaque funéraire en schiste de Los Millares. Les trois paires de lignes courbes semblent devoir s'identifier avec celles du palmier précédent. — Échelle : $\frac{1}{4}$.

13. Bétyle funéraire néolithique de Palmella (Portugal). Au bas, les feuilles du palmier avec des cercles figurant les régimes de dattes ou des yeux ; à mi-hauteur, le croissant de la lune.— Cartailhac, *op. cit.*— Échelle : $\frac{1}{4}$.

14. Tasse funéraire de Los Millares, avec deux palmes et deux cercles radiés que j'ai d'abord considérés comme représentant le soleil et la lune à cause de leur relation avec un symbole végétal et de l'opinion des anciens sur la sexualité différente des deux astres, rapportée par Pline. Je les ai ensuite confondus avec les yeux du poulpe. M. Fr. Houssay, qui a bien voulu me donner son avis sur certaines de ces figures, voit plutôt les deux astres dans d'autres paires de cercles semblables que je considère comme des yeux. Je crois que dans le cas de la fig. 14, il faut en effet revenir à la première opinion, celle qui y reconnaît le soleil et la lune. D'ailleurs, comme M. Houssay l'a montré, il y a plusieurs symboles primitifs, et il faut tenir compte du phénomène de la convergence, qui les confond souvent en un seul, soit accidentellement, soit avec intention. Cette confusion m'a empêché de mettre suffisamment en relief le rôle du palmier, sur lequel j'insiste ici, et qui est un symbole éminemment phénicien (V. aussi pl. VI, fig. 5). Sa représentation schématique (fig. 11) fournit un nouveau motif de face avec deux yeux ombragés de sourcils. Les sourcils de la fig. 7 rappellent peut-être des palmes. Ces paires de cercles, que leur origine soit animale, végétale ou sidérale, forment la base des tendances anthropomorphiques dans ces séries de représentations. — Échelle : $\frac{3}{5}$.

15. Tasse funéraire de Los Millares, avec six cercles radiés. — Échelle : $\frac{1}{3}$.

PLANCHE III

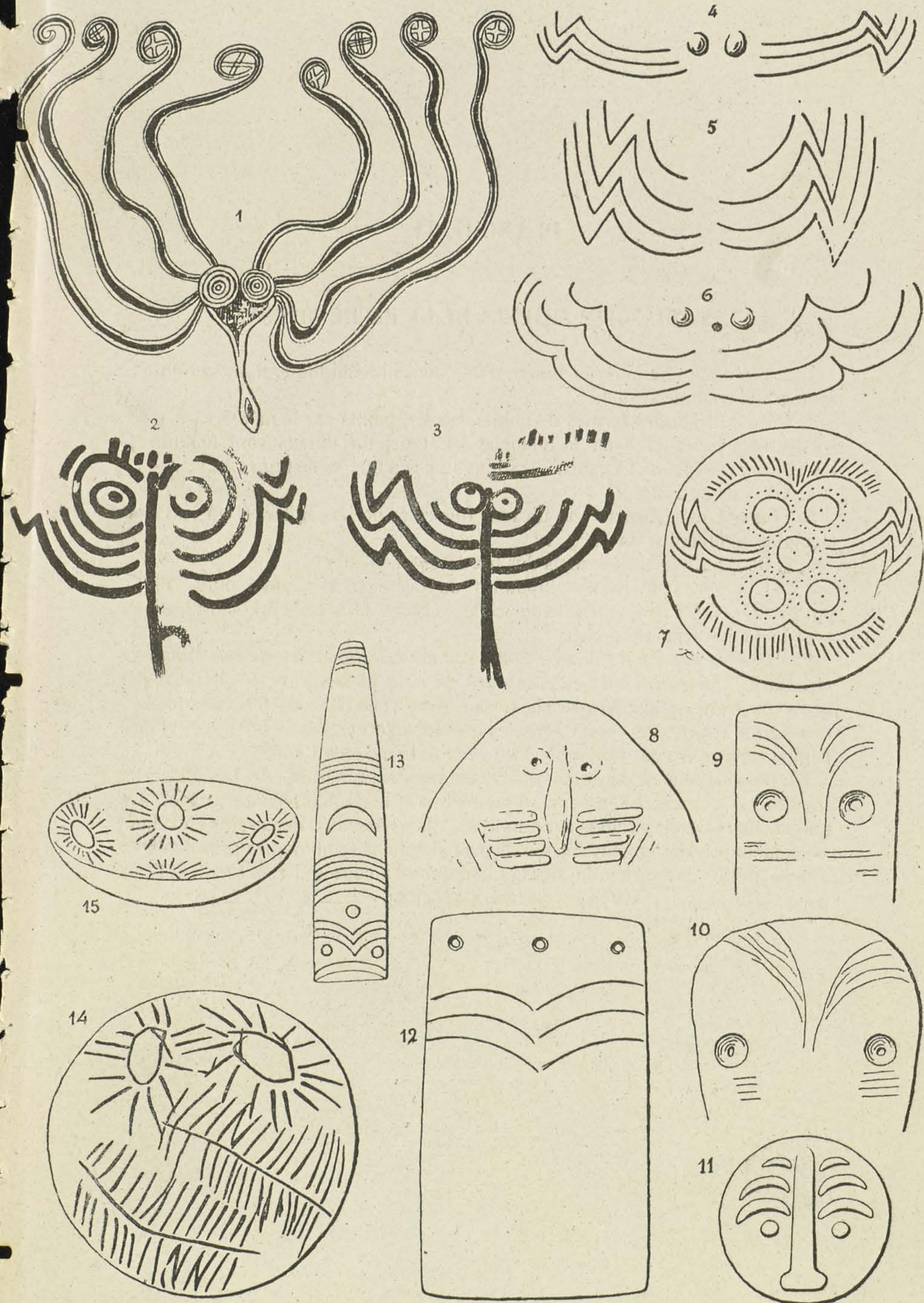


PLANCHE IV

LES TRIANGLES SEXUELS ET LA HACHE BIPENNE

1, 2. Statuette féminine en pierre d'une maison néolithique d'Almizaraque, avec grand triangle sexuel.

3. Série de triangles formés de points rouges, peints sur le même vase que les poulpes fig. 2 et 3 de la planche III. Ceux du dessus sont féminins; les autres masculins, et à gauche ils sont réunis en une seule figure.

4. Triangle de la fig. 2.

5. Triangle mâle, gravé sur un vase funéraire de Los Millares. On voit des triangles semblables sur la fig. 12.

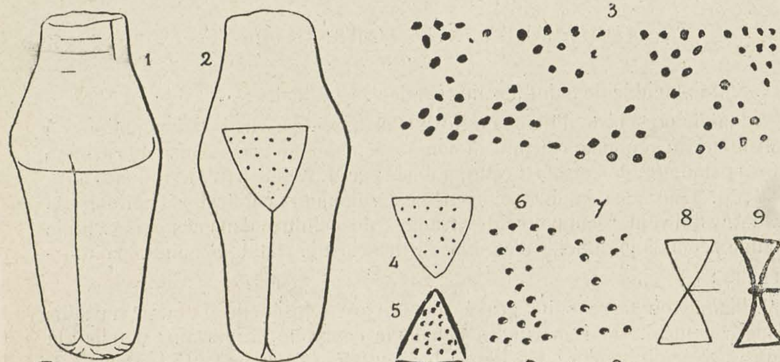
6, 7. Doubles triangles sexuels des fig. 12 et 13.

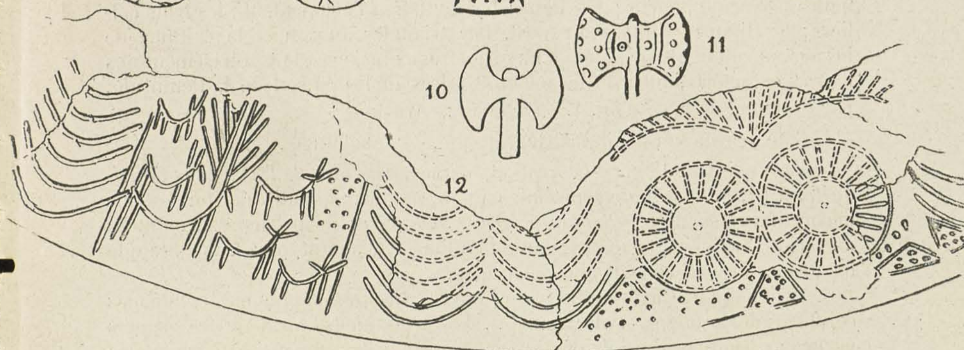
8 à 11. Figures de haches bipennes de Crète (L'ANTHROPOLOGIE, 1902, pp. 25 à 27). Les points marqués sur celle de la fig. 11 achèvent l'identification avec le double triangle sexuel.

12. Développement du dessin gravé sur un vase funéraire de Los Millares, sépulture 7. A gauche, un cerf entouré de cinq biches et le double triangle sexuel. A droite, deux cercles radiés, reconstitués; en dessous, triangles mâles. Les lignes en arc de cercle sont les mêmes qu'on retrouve sur les os-idoles peints, mais là ils sont placés sous les yeux au lieu d'être à côté.

13. Développement du dessin gravé sur un vase funéraire de Los Millares, sépulture 15. A gauche, un cerf, deux biches et le double triangle sexuel. Au milieu, deux cercles radiés avec sourcils, et, en dessous, deux seins en relief. Deux métopes contiennent des motifs probablement symboliques : sur d'autres vases on voit des séries de zigzags identiques à ceux qui représentent l'eau dans l'art égyptien (Pl. V, fig. 16). — Échelles 1 à 5 : $\frac{1}{2}$ — 6, 7 : $\frac{1}{1}$ — 12, 13 : $\frac{1}{2}$.

PLANCHE IV





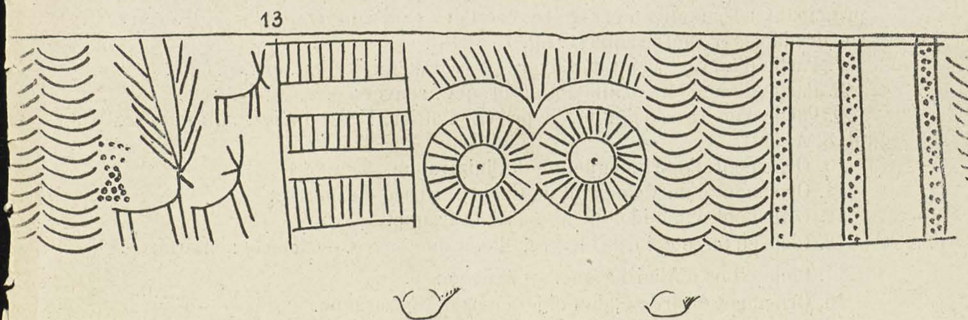


PLANCHE V

COMPARAISONS AVEC L'ART CHYPRIOTE

1. Statue-menhir de Saint-Sernin (France). — Échelle : $\frac{1}{20}$.

2. Plaque en schiste d'Idanha a Nova (Portugal). Les trois lignes obliques à la hauteur du genou se retrouvent comme ornement ou accessoire de costume dans la statuette de Petsofa (Crète), publiée par M. Reinach (L'Anthropologie, 1904, p. 655); les jambes elles-mêmes semblent confirmer l'opinion de M. d'Acy qui veut reconnaître des franges de ceinture dans ces lignes. Il me semble cependant difficile d'étendre la théorie à la statue de Saint-Sernin. — Échelle : $\frac{1}{3}$.

3. Plaque en terre cuite gravée de Chypre (Musée du Louvre; croquis d'après nature). On remarquera l'analogie complète de certains détails : la figure privée de bouche; les lignes horizontales; l'épaulement; les trois colliers; les lignes obliques au bord. Les triangles du cou et la ceinture de losanges manquent sur l'idole d'Idanha a Nova; mais ce sont précisément des figures caractéristiques de beaucoup d'autres idoles du sud de la Péninsule, par exemple, de la côte fig. 4. — Échelle : environ $\frac{1}{3}$.

4. Côte gravée (ou peinte) d'Almizaraque. — Échelle : $\frac{1}{2}$.

5. Vase peint de Chypre (Perrot et Chipiez, *Histoire de l'Art dans l'antiquité*, t. III, p. 689). Je le reproduis ici pour montrer l'identité de son système décoratif avec celui de la côte précédente : ceintures de losanges surmontées de séries étagées de triangles; cette identité est d'autant plus frappante que les formes des objets sont plus différentes.

6. Vase peint de Chypre (Musée du Louvre). Croquis d'après nature; mêmes ceintures de losanges et de triangles. Les trois pieds, formant des plaques verticales, sont couverts de dessins dont je reproduis approximativement les principaux : les motifs de la tresse, celui des chevrons étagés, se retrouvent sur des idoles d'Almizaraque (v. fig. 15 et 16).

7. Partie d'un vase peint de Chypre (Perrot et Chipiez, *op. cit.*, p. 686).

8. Partie d'une idole peinte d'Almizaraque, renversée.

9. Partie d'un vase peint de Chypre (E. Pottier, *Vases antiques du Louvre*, pl. 8, A, 111).

10. Ornement d'une idole peinte d'Almizaraque.

11. Ornement d'un vase peint de Chypre. Musée du Louvre.

12. Ornement d'une idole peinte d'Almizaraque.

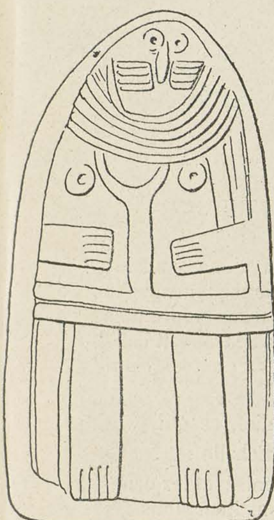
13. Idole en terre cuite de Chypre. Musée du Louvre. — Échelle : environ $\frac{1}{3}$.

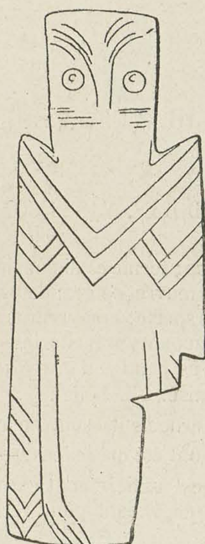
14. Idole en os d'Almizaraque. — Échelle : $\frac{1}{3}$.

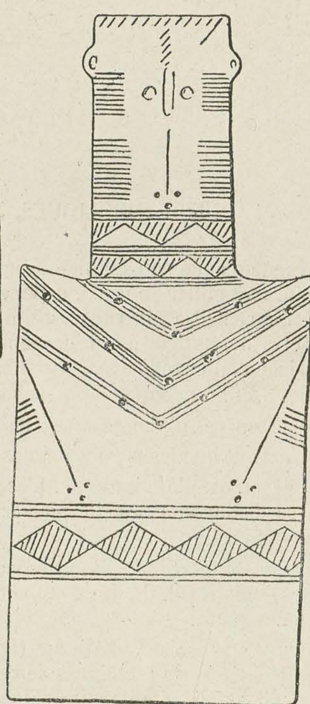
15. Ornement en tresse d'un objet en os d'Almizaraque.

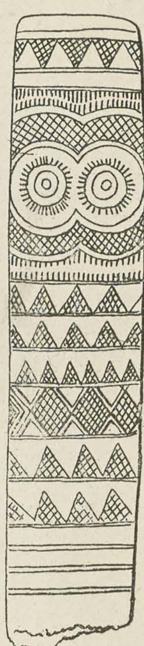
16. Ornement d'une idole en os d'Almizaraque.

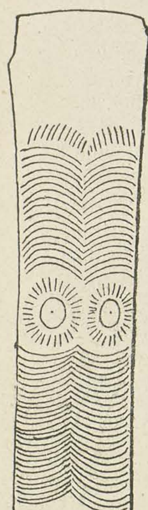
PLANCHE V

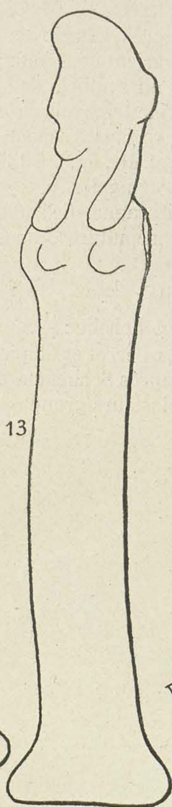

1

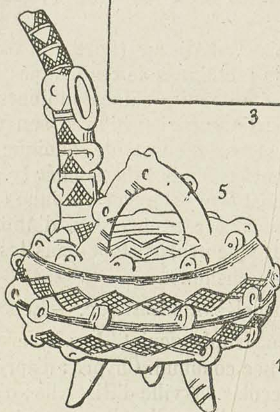

2

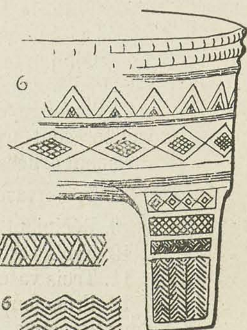

3

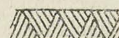

4


14

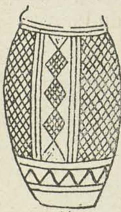

13

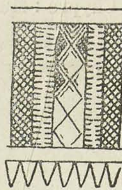

5

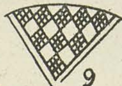

6

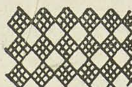

15

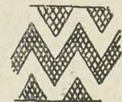

16


7


8


9


10


11

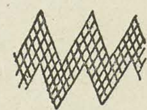
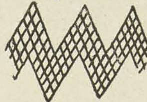


12

PLANCHE VI

PLAQUES SYMBOLIQUES, IDOLES, VASES CONJUGUÉS

1. Grande plaque en os d'Almizaraque; forme et dimension d'une sandale; le dessin, tout entier en relief, est une œuvre de grande patience; il rappelle l'aspect des semelles faites de tresses de sparte; comparer aussi aux empreintes de pas et de doigts figurées sur des monuments préhistoriques. Se trouvait dans une maison contenant environ trente os peints ou gravés, entre autres celui de la fig. 3, et beaucoup de bois carbonisé. — Échelle : $\frac{1}{2}$.

2. Idole en os, d'Almizaraque; les ornements sont en relief, ce qui peut provenir de ce que les parties peintes ont été corrodées. — Échelle : $\frac{1}{2}$.

3. Idole en os, d'Almizaraque. L'os est entièrement carbonisé et les ornements se distinguent à peine; assez cependant pour reconstituer tous les motifs. — Échelle : $\frac{1}{2}$.

4. Plaque de pierre de Moncarapacho (Portugal). Elle sert de transition entre les poulpes (Pl. III, fig. 2 et 3) et les idoles en os (fig. 2 et 3 ci-dessus, et Pl. V, fig. 4 et 14).

5. Plaque en schiste, d'Aljezur (Portugal) d'après Estacio da Veiga. Les figures géométriques rectilignes de ces plaques varient beaucoup ; le triangle domine : il est difficile de dire s'il est toujours un symbole de sexualité. La disposition de la partie supérieure, avec son vide triangulaire et ses zones gravées obliques, est assez constante, quoique variant d'aspect et rappelle l'éventail que forment les feuilles du palmier (v. pl. III, fig. 9 à 13).

6. Phalange d'animal ornée, de San Martinho (Portugal).

7. Phalange d'animal ornée en creux, d'Almizaraque. Ces phalanges travaillées sont très fréquentes, surtout dans les sépultures, mais elles sont rarement ornées. — Échelle : $\frac{1}{2}$.

8. Trois vases accolés. Almizaraque. — Échelle : $\frac{1}{4}$.

9. Récipient à quadruple goulot. Los Millares. Échelle : $\frac{1}{4}$.

10. Trois vases à bec commun. Chypre; d'après Perrot et Chipiez.

11. Trois vases accolés. 3e ville d'Hissarlik; d'après Schliemann.

12. Fragment d'une plaque d'argile portant plusieurs groupes de vases et deux personnages. Chypre : Musée du Louvre.

PLANCHE VI

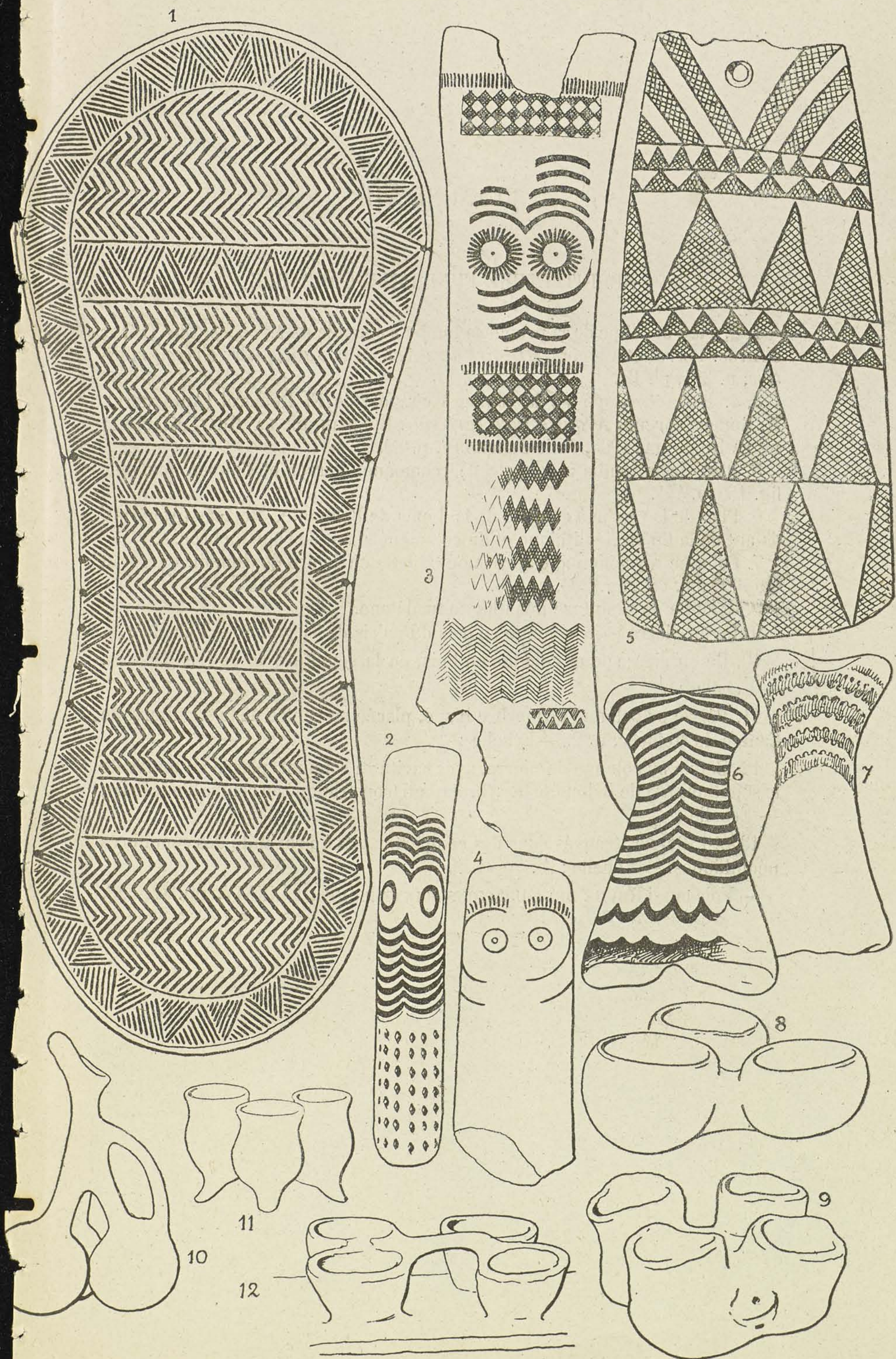


PLANCHE VII

ARCHITECTURE FUNÉRAIRE COMPARÉE

1, 2. Plan et coupe de la première tombe à coupole de Mycènes, dite Trésor d'Atrée. Perrot et Chipiez, *Histoire de l'Art dans l'antiquité; Grèce primitive*, p. 394, pl. III.

3, 4. Plan et coupe de la tombe à coupole de El Romeral (Antequera). M. Gomez Moreno, *Arquitectura tartesia* : BOLETIN DE LA REAL ACADEMIA DE LA HISTORIA, 1905, Julio-Setiembre, p. 89.

5. Plan de la tombe à coupole d'Orchomène. Perrot et Chipiez, *loc. cit.*, fig. 160, p. 441.

6. Plan de la tombe à coupole de la Loma de Belmonte, Mojácar (Almérie), datant de la fin du Néolithique et du commencement de l'âge du bronze.

7. Colonne mycénienne d'après une tablette en ivoire de Ménidi. Perrot et Chipiez, *loc. cit.*, fig. 208, p. 528.

8. Colonne de sépulture néolithique turdétane.

9. Dé en pierre pour colonne en bois du palais de Tirynthe. — Échelle : $\frac{1}{20}$.

10. Dé en pierre pour colonne en bois, de la sépulture 16 de Los Millares. — Échelle : $\frac{1}{20}$.

11. Bétyle ou colonne de marbre blanc, placée au centre de la sépulture de Campo de Mojácar, n° 2. — Échelle : $\frac{1}{20}$.

12. Bétyle ou colonne de pierre, avec cavité au sommet, placée au milieu de la sépulture n° 1 de Belmonte (fig. 6), dans un trou pratiqué au centre d'une dalle. — Échelle : $\frac{1}{20}$.

13 à 16. Bétyles trouvés dans des compartiments à proximité des sépultures néolithiques. — Échelle : $\frac{1}{20}$.

— Voir aussi REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, t. XXXIV, pp. 521-528.

PLANCHE VII

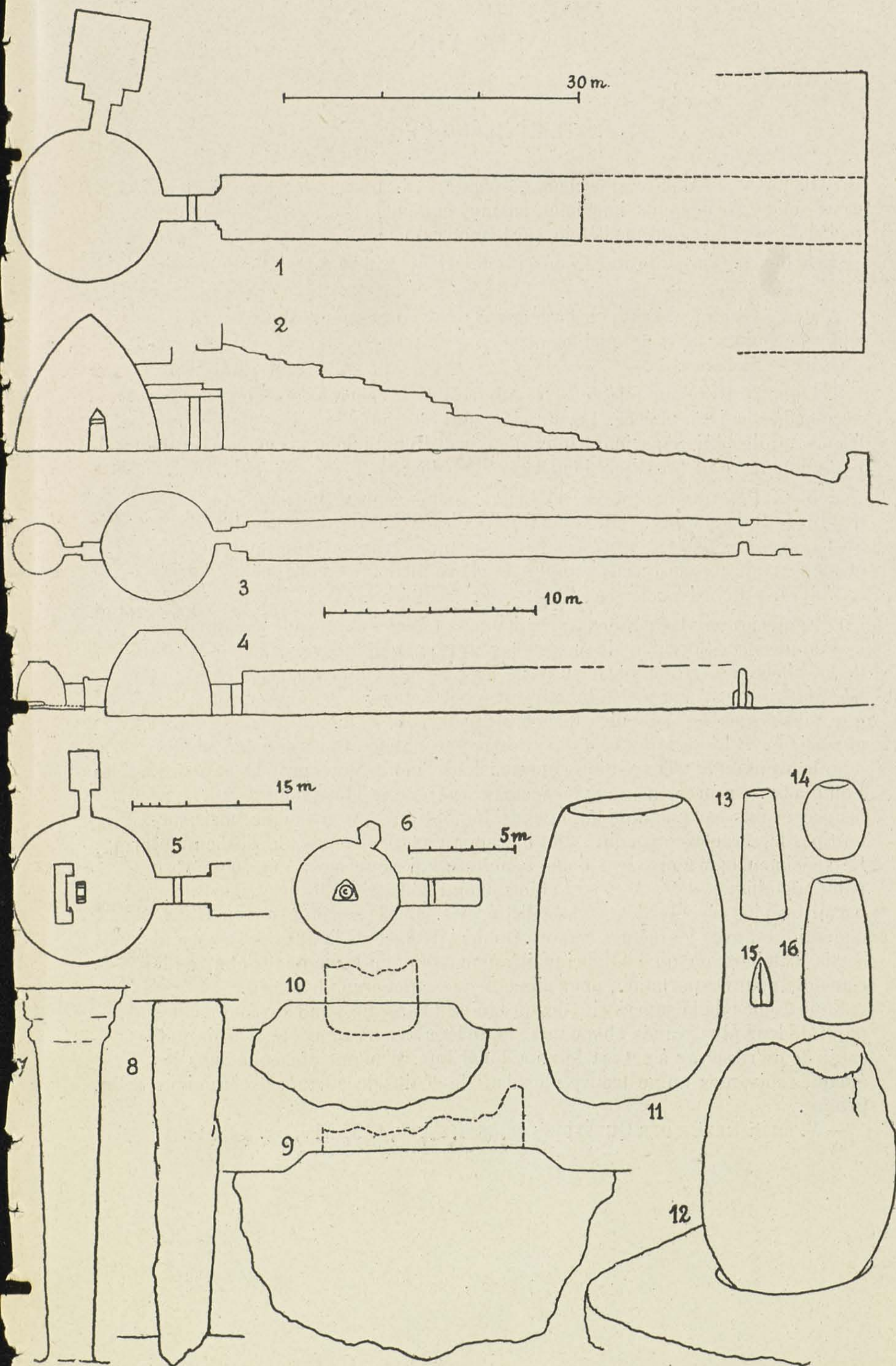


PLANCHE VIII

POTERIE IBÉRIQUE

1. Llano de la Atalaya (Purchena), sépulture 6. Vase caliciforme de terre grise solide; ornements imprimés au moyen d'un biseau court découpé en forme de scie. Le centre de l'étoile sur le fond est occupé par un enfoncement. — Échelle : $\frac{1}{3}$. (Par suite du raccourci la bouche paraît plus étroite, en réalité elle est aussi large que la panse).

2. Même sépulture. Tasse en terre grise solide; ornements obtenus par des suites de points; il reste quelques traces de la matière blanche qui les remplissait. — Échelle : $\frac{1}{3}$.

3. Loma de Belmonte (Mojácar), sépulture 1. Vase caliciforme en terre rouge avec taches noires, altérée. Les dessins sont imprimés avec un biseau non tranchant, découpé en scie, et long d'environ 15 millimètres. Les creux contiennent encore de la matière blanche. — Échelle : $\frac{1}{3}$.

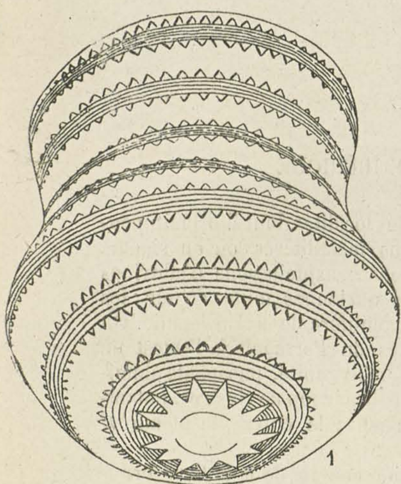
4, 5, 6. Poteries funéraires de Ciempozuelos (entre Madrid et le Tage) d'après le Boletin de la Real Academia de la Historia, décembre 1894. Surfaces noires lissées; gravures faites par un instrument pointu et un tranchant découpé en scie; creux remplis de plâtre blanc. Accompagnées d'objets en cuivre. — Échelles : 4 : $\frac{1}{5}$ — 5 : $\frac{1}{3.6}$ — 6 : $\frac{1}{2}$ environ.

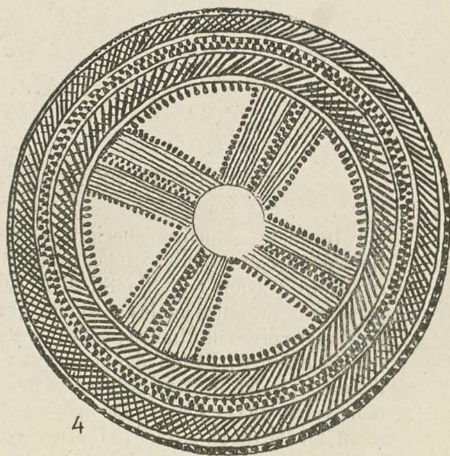
Les poteries ici reproduites appartiennent toutes à la grande famille de la céramique ornée occidentale; mais elles en représentent trois variétés. Celle de la vallée du Tage l'emporte sur tous les produits connus par la richesse et la sûreté du sentiment artistique; il faut, pour s'en rendre compte, voir l'effet que produisent ces dentelles blanches sur le fond noir. Le groupe auquel appartiennent les fig. 1 et 2 est d'un dessin plus timide et plus simple, quoique d'un heureux effet; l'exécution consciencieuse montre une grande patience. Enfin la fig. 3 représente un troisième groupe de produits contrastant avec les précédents par une diminution considérable du sens artistique, mais surtout par le caractère expéditif, tout mécanique et peu soigné de l'exécution. Le spécimen figuré provient d'une sépulture qui renferme à côté d'un vase peint néolithique, des poteries et objets datant de l'âge du bronze; il est donc parmi les plus récents des vases caliciformes. En Armorique on en trouve d'identiques, avec les mêmes défauts. On peut déduire de là que ces vases sont sortis d'ateliers où on en fabriquait en masse pour la vente; c'était de la camelote pour l'exportation, pour alimenter le commerce phénicien.

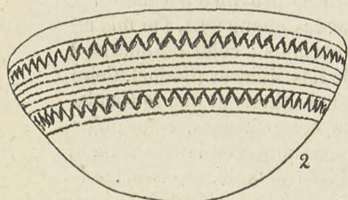
En présence de la supériorité des produits d'Espagne sur ceux des autres pays, de leur plus grande abondance, et de leur aire d'extension, je crois qu'il est juste de réserver à cet art le nom d'ibérique, d'autant plus que dans les époques suivantes on ne trouve plus dans la Péninsule aucun art céramique propre.

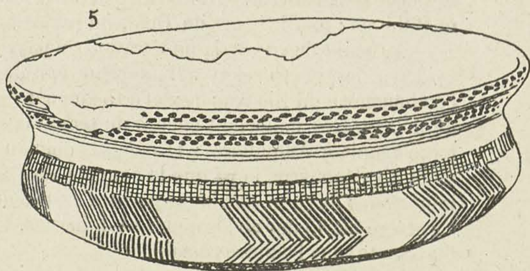
— V. aussi Revue des Questions scientifiques, t. XXXIV, fig. 230 et 231.

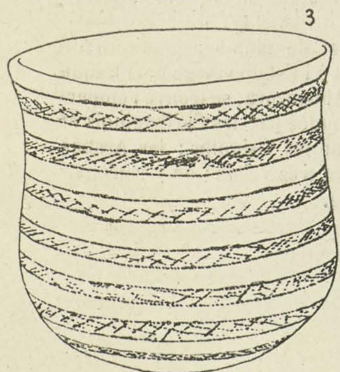
PLANCHE VIII











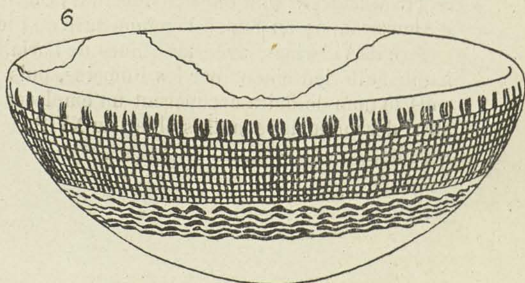


PLANCHE IX

CARTE DE LA PÉNINSULE IBÉRIQUE

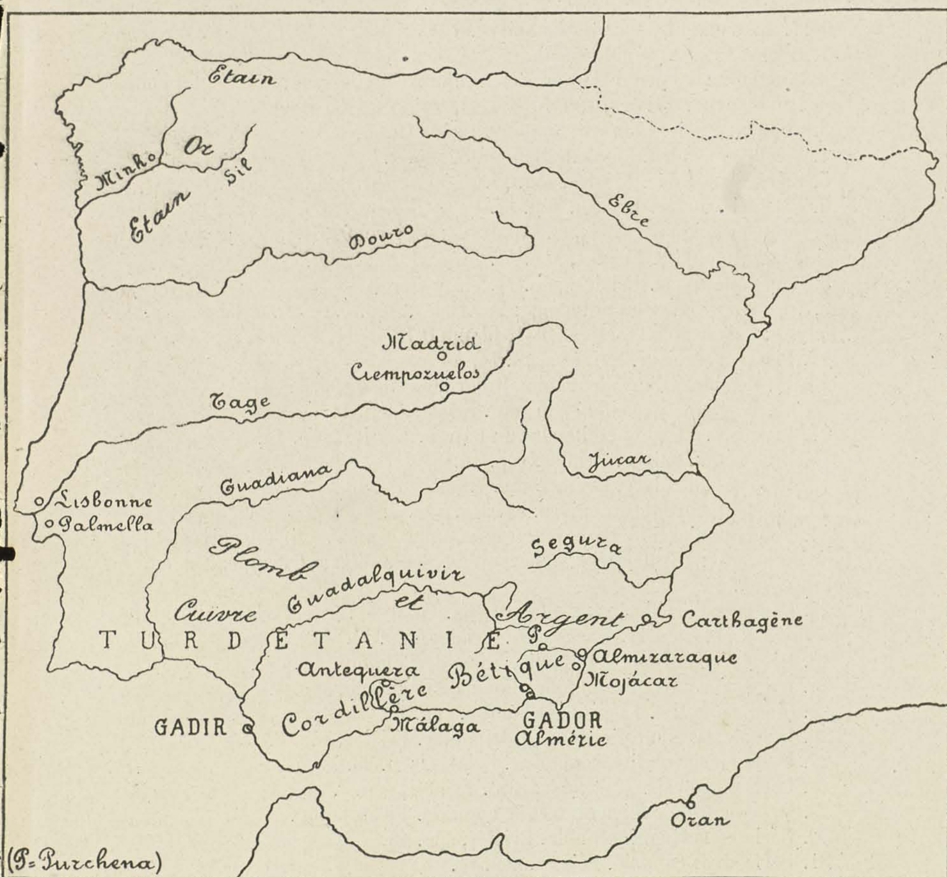
Cette carte sommaire renseigne les principales localités dont il est fait mention dans cette étude, et les grandes régions métallifères où on signale d'anciens travaux : le Rio Sil avec ses immenses exploitations d'alluvions aurifères; la Galice et les Asturies avec leurs anciennes mines d'étain; les mines de cuivre de Huelva; celles de plomb argentifère de la Turdétanie. On trouve encore : l'étain dans diverses localités du Portugal; à l'Ouest de l'Espagne entre le Tage et le Guadiana, avec l'amblygonite, phosphate alumineux voisin de la callaïs ; à Carthagène ; l'or dans beaucoup de rivières, notamment en Portugal, à Grenade et près de Purchena; le cuivre, le plomb et l'argent un peu partout.

— On remarquera la grande aire de dispersion connue de la poterie ornée néolithique : tout le cours du Tage, du Guadalquivir, la province d'Almérie.

— Au point de vue de la pénétration du pays par les Phéniciens, j'ai mis en évidence les ports reliés à l'intérieur par des chemins : celui d'Almérie, à l'embouchure du Rio Andarax et à 15 kilomètres de Los Millares (Gádor). Celui de Málaga, très important encore du temps des Carthaginois et que le Guadalorce réunit à Antequera : le célèbre dolmen de cette localité, celui qu'on vient d'y découvrir, ainsi que la coupole du Romeral attestent la très grande importance de cette deuxième porte d'entrée de la Turdétanie, et confirme le caractère marin des civilisateurs néolithiques. Puis vient Cadix (Gádir), encore florissante sous l'empire romain.

— Le gisement d'argent natif de Herrerias et de plomb argentifère de Sierra Almagrera sont respectivement à l'Ouest et à l'Est du village néolithique d'Almizaraque; au Sud, à l'embouchure du Rio Almanzora, se trouve l'embarcadère de Villaricos, avec les ruines de Baria, fondée par les Carthaginois et habitée ultérieurement par les Romains, puis par les Visigoths ; les Arabes sous le nom de Baira occupèrent un emplacement très voisin ; on y retrouve aussi des monnaies et autres objets du XVII[e] siècle.

PLANCHE IX



Etain
Or
Minho
Sil
Etain
Douro
Ebre
Madrid
Ciempozuelos
Tage
Jucar
Guadiana
Lisbonne
Palmella
Segura
Plomb
Guadalquivir
et
Cuivre
Argent
Carthagène
TURDÉTANIE
P
Almizaraque
Antequera
Bétique
Mojácar
Cordillère
GADIR
Málaga
GADOR
Almérie
Oran
(P=Purchena)

PLANCHE X

APPARITION DE LA CIVILISATION DU BRONZE

1-11. Instruments et armes en cuivre.

1. Hache. Eriales, sépulture 10.

2. Poignard : le bord de la soie a été rendu irrégulier pour augmenter l'adhérence au manche. Eriales, sép. 5.

3. Couteau à soie. Loma de Belmonte, sép. 1.

4. Flèche lancéolée. Loma de Belmonte, sép. 1.

5. Flèche lancéolée. Eriales, sép. 14.

6. Flèche barbelée. Eriales, sép. 14.

7. Couteau-poignard à rivets. Analyse : Cuivre 94,64, arsenic 4,65, antimoine 0,20, fer 0,38. Eriales, sép. 14.

8. Couteau à rivets. Eriales, sép. 14.

9, 10, 11. Épingles ou poinçons : 9. Eriales, sép. 5. — 10. Eriales, sép. 14. Analyse : Cuivre 85,39, arsenic 0,31, plomb 0,72. — 11. Eriales, sép. 14.

12. Pierre à aiguiser. Eriales, sép. 14.

13, 14. Pendants d'oreille en plomb doré. Eriales, sép. 7.

15, 16. Pendants d'oreille en argent. Eriales, sép. 14.

17. Bracelet en argent contenant du cuivre. Eriales, sép. 14.

18. Bracelet en cuivre. Eriales, sép. 14.

19. Bracelet en cuivre. Eriales, sép. 7.

20. Pendant d'oreille en cuivre. Eriales, sép. 7.

21. Pendant d'oreille en cuivre, avec anneau plus petit en cuivre et petit tube en argent ; par derrière adhère un fragment d'un autre anneau en cuivre. Eriales, sép. 14.

22. Pendant d'oreille en argent cuivreux. Analyse : argent 83,5, cuivre 11,99, plomb 1,34, chlore 2,11, traces d'or. Eriales, sép. 14.

23. Lame d'or enroulée et aplatie. Loma de Belmonte, sép. 1.

24. Lame d'or enroulée en tube. Loma de Belmonte, sép. 1.

25. Pince de crabe. Loma de Belmonte, sép. 1.

26. Dentales servant d'ornement de collier. Eriales, sép. 5.

27. Perle en serpentine commune. Eriales, sép. 23.

28. Perle en calcaire (?) transparent. Eriales, sép. 7.

29. Ornement de collier en test de coquille. Eriales, sép. 7.

30. Perle en serpentine noble. Eriales, sép. 14.

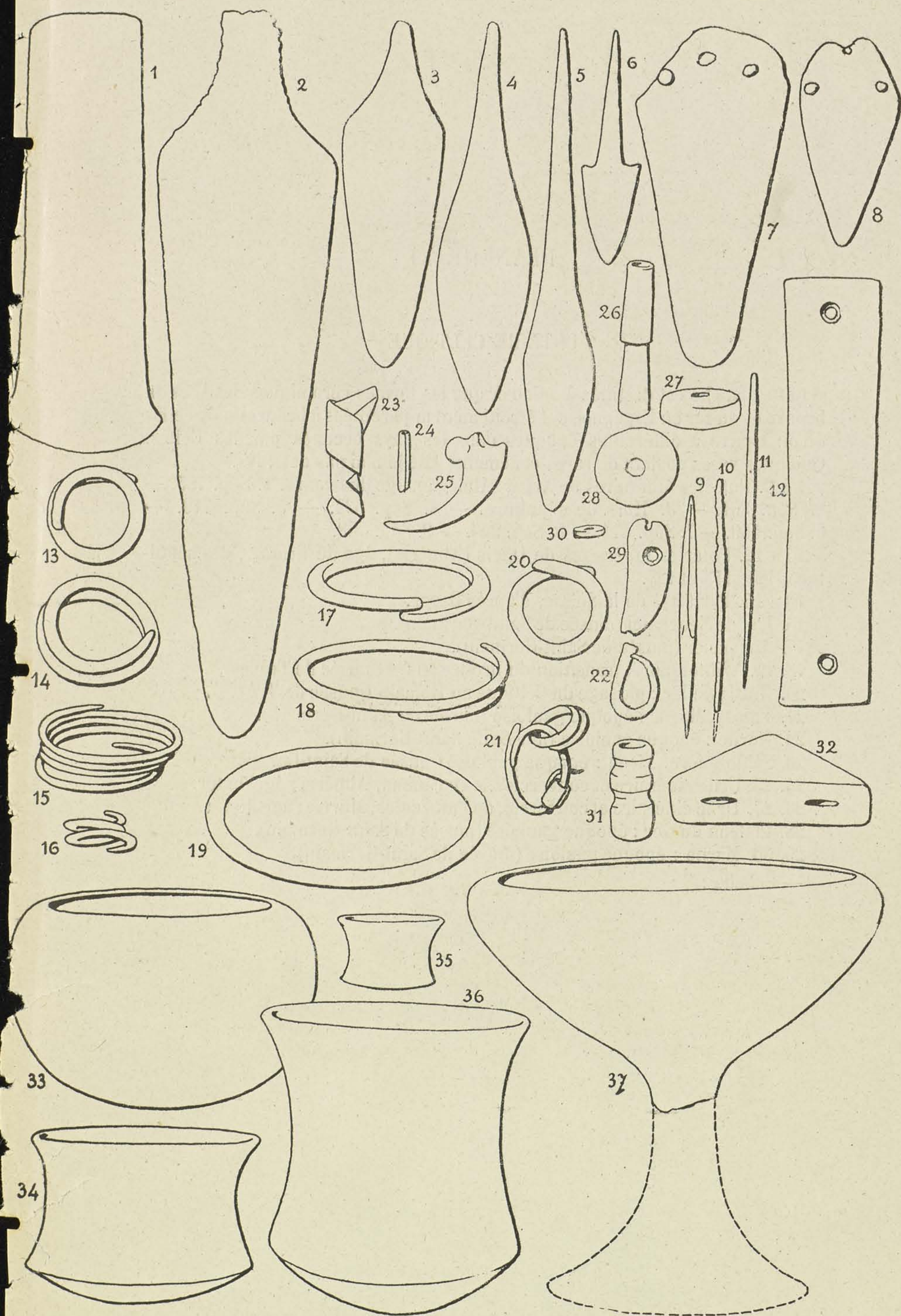
31. Perle en os cannelé. Eriales, sép. 14.

32. Bouton en ivoire. Eriales, sép. 14.

33 à 37. Vases de formes caractéristiques de l'époque. — 33. Eriales, sép. 14. — 34. Eriales, sép. 14. — 36. Eriales, sép. 3. — 37. Eriales, sép. 14 ; le pied, brisé, avait été maintenu au moyen d'un lien passant par un trou.

Échelles : les poteries $\frac{1}{4}$ — le reste $\frac{1}{2}$.

PLANCHE X



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37

PLANCHE XI

POTERIE CELTIQUE

Cette planche est destinée à montrer que les formes céramiques des âges du bronze et du fer en Espagne sont étroitement apparentées à beaucoup de celles qu'on trouve à différentes époques dans les pays occupés par les Celtes. Quelques vases portent de rares ornements que je n'ai pas dessinés.

1 à 9. Poteries funéraires de Argar (Almérie), âge du bronze. 1. Sép. 755. — 2. Sép. 801. — 3. Hors de sépulture. — 4. Sép. 634. — 5. Sép. 719. — 6. Sép. 509. — 7. Sép. 474. — 8. Sép. 225. — 9. Sép. 468.

10 à 12. Poteries funéraires de Oficio (Almérie), âge du bronze; des sépultures 124, 143 et 127.

13 à 15. Palafittes de la Suisse, d'après Desor.

16. Lac de Neuchâtel (musée de Saint-Germain).

17. Auvernier (musée de Saint-Germain).

18. 19. Wintersdorf; transition du bronze au fer (musée de Trèves).

20. Hüttigweiler : passage du Celtique au Romain (musée de Trèves).

21. Thuisy, Marne : époque gauloise (musée de Saint-Germain).

22. Marne : époque gauloise (musée de Saint-Germain).

23. Sablonnière, Aisne : époque gauloise (musée de Saint-Germain).

24. 25. Urne cinéraire et couvercle, de Qurénima, Almérie; âge du fer.

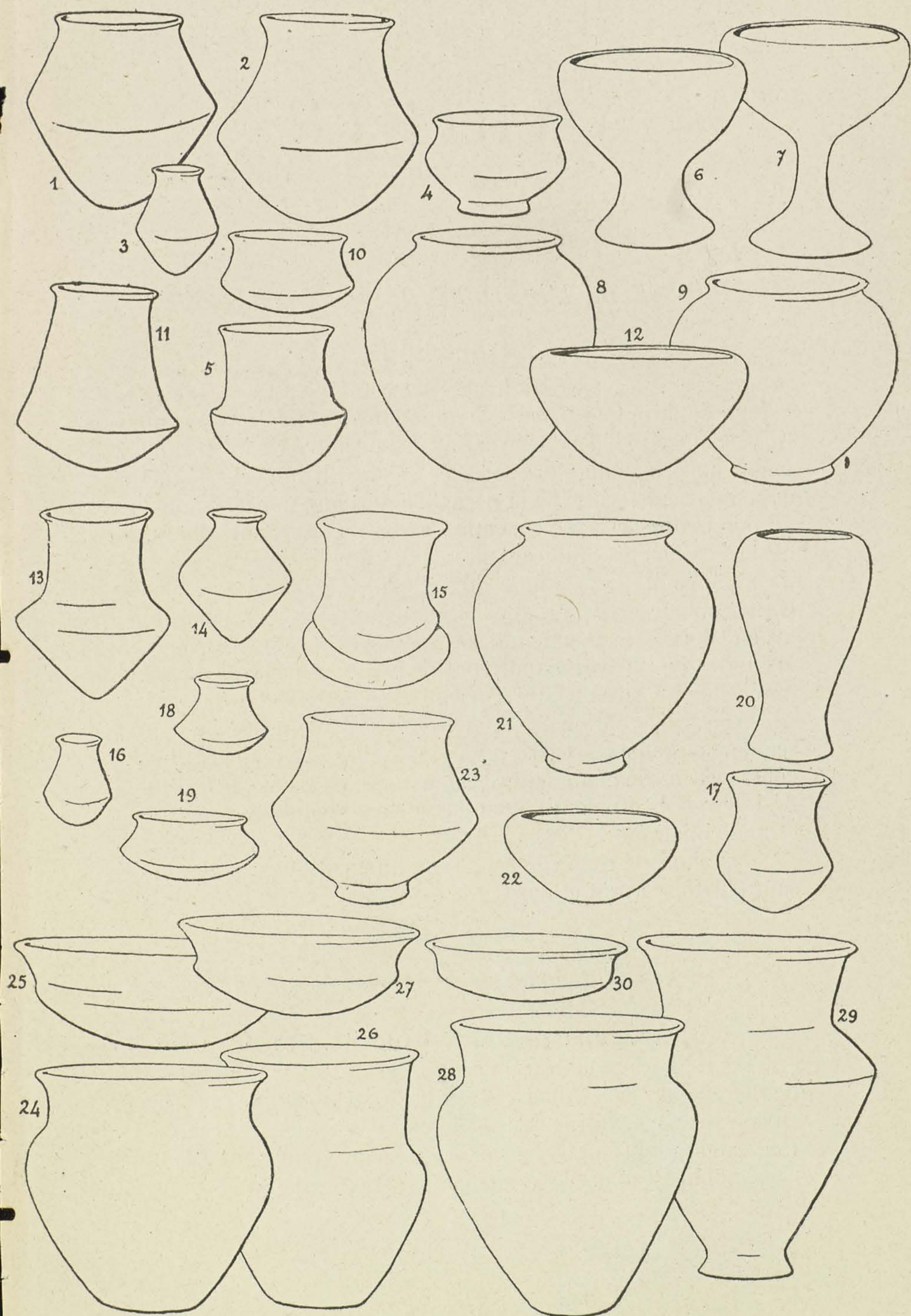
26. 27. Urne cinéraire et couvercle, de Parazuelos, Murcie; âge du fer.

28. Plateau du Ger : époque gauloise (musée de Saint-Germain).

29, 30. Marne : époque gauloise (musée de Saint-Germain).

— Échelle : $\frac{1}{8}$.

PLANCHE XI



1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30

VARIÉTÉS

ESQUISSE DE L'HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES EN BELGIQUE

Pour se faire une juste idée de l'influence qu'a eue la réalisation de notre indépendance nationale sur notre vie intellectuelle, même dans le champ des sciences exactes, il importe de mettre en lumière la stérilité de la période antérieure dans ce domaine. La domination étrangère semble avoir été, dans notre pays, un obstacle à peu près radical à l'essor des intelligences dans l'étude des mathématiques comme des sciences de la nature. Mais à peine les liens artificiels que la diplomatie ou la conquête brutale avaient forgés pour unir nos destinées à celles de l'Autriche, de la France ou de la Hollande sont-ils brisés, à peine la Belgique indépendante est-elle libre d'orienter son activité dans le sens de ses aspirations nationales, qu'elle voit ses enfants se lancer non seulement dans les carrières industrielles et commerciales, si conformes à son génie naturel, mais aussi dans ces hautes études désintéressées qui sont l'objet des sciences naturelles, physiques et mathématiques.

Nous allons le montrer pour les mathématiques en en esquissant l'histoire avant et après 1830.

I. Les Mathématiciens belges avant 1830

Stevin, Grégoire de Saint-Vincent, Sluse. Au XVIe siècle, sous Charles-Quint et Philippe II, et au XVIIe siècle, particulièrement sous Albert et Isabelle, la Belgique n'a rien à envier aux pays voisins dans le domaine des sciences et des arts. Un grand nombre de Belges, soit dans notre pays, soit à l'étranger, publient, dans le domaine des mathématiques pures et

appliquées, des ouvrages qui sont un témoignage durable de notre activité scientifique : Mercator, Stadius, Coignet, Romanus, Simon Stevin, d'Aiguillon, Lansberghe, Muliers, Beeckman, Wendelin, Grégoire de Saint-Vincent, della Faille, Van Langren, Tacquet, de Sarasa, Verbiest, Sluse, etc.

Trois d'entre eux, Stevin (né à Bruges en 1548, mort à Leyde en 1620), Grégoire de Saint-Vincent (né à Bruges en 1584, mort à Gand en 1667) et René de Sluse (né à Visé en 1622, mort à Liége en 1685) ont eu sur la science de leur temps et même, pour le premier, sur la science de tous les temps, une influence considérable qui les met hors de pair parmi leurs contemporains.

Le principal titre de gloire de Stevin, c'est d'avoir été le créateur de la statique et de l'hydrostatique modernes. Entre Archimède et lui, il n'y a aucun géomètre qui ait trouvé et mis en pleine lumière une vérité importante relative à ces deux sciences. Dès 1586, il établit, par un raisonnement admirable de simplicité, la loi de l'équilibre sur le plan incliné et la composition des forces rectangulaires, complète ou rectifie Archimède en découvrant le paradoxe hydrostatique et signale, là où il le faut, le principe d'égalité de pression, devançant ainsi Pascal de plus d'un demi-siècle. L'année précédente, dans son écrit intitulé la *Disme*, publié aussi en flamand, il avait donné les règles du calcul des fractions décimales, non pas incidemment comme plusieurs de ses devanciers, mais avec la pleine conscience de la valeur pratique de son invention. En 1594, dans un appendice à son Arithmétique, il fait connaître ce principe fondamental de la résolution des équations numériques que deux nombres comprennent entre eux une racine de l'équation, si, substitués dans son premier membre, ils lui font prendre des signes contraires.

Grégoire de Saint-Vincent, avant Cavalieri, dans des manuscrits assez répandus, mais surtout dans son *Opus geometricum* (1647), a traité avec rigueur, au moyen de théorèmes généraux qui ont eu une influence incontestable sur Newton et sur Leibniz, les questions de quadratures et de cubatures; il a démontré l'égalité de l'arc de la parabole et de la spirale d'Archimède; il a trouvé l'aire de l'hyperbole par une série équivalente à la série logarithmique et d'innombrables théorèmes sur les coniques.

Sluse emploie l'analyse à la manière de Viète et de Descartes. On lui doit, outre des quadratures très compliquées, une méthode pour résoudre par l'algèbre les problèmes déterminés, où il manie les lieux géométriques avec une aisance toute moderne. Mais sa découverte principale est celle de la règle pour

mener la tangente aux courbes algébriques dont l'équation est mise sous forme rationnelle. Cette règle, trouvée en 1652, mais publiée seulement en 1668, puis plus complètement en 1673, provoqua l'admiration de Newton et fit nommer Sluse membre de la Société royale de Londres.

Le Poivre et **Nieuport**. « Après de Sluse, dit Quetelet, et pendant plus d'un siècle, la Belgique au milieu de ses revers politiques, dut se tenir à peu près en dehors du champ de la science nouvelle (l'analyse infinitésimale)... Quand arriva le commencement du XVIII[e] siècle, le silence scientifique s'était répandu sur la Belgique... Aucun effort ne fut fait alors pour aider nos aïeux à diriger leurs pas. »

On ne peut guère citer au XVIII[e] siècle, comme mathématiciens belges, que Le Poivre (mort en 1710), de Mons, et le vicomte de Nieuport (1746-1827), de Gand. Le premier a publié, en 1704, puis de nouveau en 1708, un traité des sections coniques, très court et de forme assez originale pour avoir été remarqué des contemporains, mais ne contenant rien d'essentiellement nouveau, la méthode exceptée. On peut en dire autant des nombreux mémoires publiés par le vicomte de Nieuport sur les équations différentielles et les équations aux dérivées partielles, à la fin du XVIII[e] siècle et au commencement du XIX[e] : ils n'eurent aucune influence sur le développement scientifique.

Quetelet et **Dandelin**. Sous la domination française (1794-1814), l'ancienne Université de Louvain avait été supprimée sans qu'aucune institution d'enseignement supérieur la remplaçât. Sous le régime hollandais, des universités nouvelles furent établies à Louvain, à Liége et à Gand, mais parmi les professeurs qui y occupèrent les chaires de hautes mathématiques, aucun n'arriva à la notoriété scientifique, sauf Pagani dont nous reparlerons plus loin.

Au contraire en dehors des universités, un autodidacte, Adolphe Quetelet (1796-1874), qui se fit plus tard un nom immortel dans le domaine de la statistique morale (*Physique sociale*, 1836), et son ami Dandelin (1794-1847), publièrent sur les coniques, de 1820 à 1822, les *théorèmes belges*, si simples et si beaux, que l'on ne conçoit pas comment ils ont pu échapper à tant de géomètres qui, dans l'antiquité et les temps modernes, ont étudié ces courbes célèbres : « Une sphère tangente à un cône circulaire droit et à un plan qui le coupe, touche le plan sécant en un point

qui est un foyer de la conique d'intersection du cône et du plan; la directrice correspondante est l'intersection du plan sécant avec le plan de la circonférence de contact de la sphère et du cône. »

Quetelet, qui fut secrétaire perpétuel de l'Académie royale, de 1835 à 1874, a eu une influence prépondérante sur la renaissance de l'activité scientifique dans notre pays, avant et après 1830, grâce à la publication de la CORRESPONDANCE MATHÉMATIQUE ET PHYSIQUE (1824-1839, onze volumes), puis à celle des BULLETINS DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE (à partir de 1833).

II. La première génération après 1830

G.-M. Pagani (1796-1855), réfugié italien, successivement professeur à l'Université de Liége (1826-1830) et à celle de Louvain (1835-1853), a écrit un grand nombre de mémoires ou de notes sur des sujets très variés : théorie des lignes spiriques, mécanique rationnelle des systèmes déformables, séries de Fourier, intégration des équations du mouvement de la chaleur, principe des vitesses virtuelles, pendule de Foucault, équilibre des colonnes, théorie des exponentielles et des logarithmes. Il a introduit le premier dans l'étude des courbes gauches la considération du trièdre formé par la tangente, la normale principale et la binormale.

A. Timmermans (1801-1864). On doit à Timmermans, qui a enseigné à l'Université de Gand de 1835 à 1864, l'analyse infinitésimale et la mécanique rationnelle, deux traités relatifs à ces branches élevées des mathématiques, et, en outre, un certain nombre de mémoires sur la théorie des moulins à vent, sur les solutions singulières des équations différentielles, sur les axes principaux d'inertie et les centres de percussion, etc. Mais le travail le plus original qu'il ait publié semble être son petit mémoire sur la théorie intrinsèque des courbes intitulé : *Recherches sur la théorie des courbes, déduite de la considération de leurs rayons de courbure successifs* (Lille, 1828). On y trouve, entre autres, ce joli théorème : « Il y a dans le plan d'une courbe un point dont la distance à la tangente et à la normale à la courbe, en un point quelconque, est égale à la somme algébrique des rayons de courbure successifs, impairs ou pairs, de la courbe en ce point. »

J.-B. Brasseur (1802-1868) est plus original que les précédents. Il a publié un *Programme d'un Cours de géométrie descriptive* (quatre éditions : 1837, 1850, 1859, 1866) qui est un vrai chef-d'œuvre didactique et qu'on ne peut surpasser qu'en en prenant le plan et les grandes lignes; des mémoires divers sur la géométrie des quadriques, la mécanique et la mécanique appliquée. Son œuvre capitale est son *Mémoire sur une nouvelle méthode d'application de la géométrie descriptive à la recherche des propriétés de l'étendue* (1855), qui est, au fond, un exposé entièrement personnel de la géométrie projective, déduite d'un seul théorème fondamental.

A. Meyer (1803-1857), Luxembourgeois comme Brasseur, outre bon nombre de notes ou de mémoires sur des questions d'analyse et de calcul des probabilités, a publié des ouvrages didactiques sur l'arithmétique, la trigonométrie, le calcul différentiel, le calcul des variations, la théorie des intégrales définies, dont aucun n'a eu de valeur durable; l'auteur ne s'était pas suffisamment inspiré des traditions de rigueur absolue introduite par Cauchy en mathématiques. En revanche, le *Cours de calcul des probabilités* que Meyer a fait à l'Université de Liége, de 1849 à 1857, et qui a été publié en 1874 par Folie, est une œuvre qui lui fait honneur. Ce cours a été traduit en allemand par M. E. Czuber en 1879.

P.-J. Verhulst (1804-1849), professeur à l'école militaire de Bruxelles, a écrit quelques notes ou mémoires sur les applications du calcul des probabilités à la statistique, mais il est surtout connu par son *Traité élémentaire des fonctions elliptiques* (1841), où il a résumé, sous une forme aussi élémentaire que possible, les travaux de Legendre et une partie des *Fundamenta* de Jacobi.

E. Lamarle (1806-1875), né à Calais, mort à Douai, mais dont la vie scientifique s'est passée entièrement en Belgique (il a été professeur à l'Université de Gand de 1838 à 1867), est l'auteur de travaux très dignes d'attention sur les principes de l'analyse infinitésimale et de la géométrie cinématique. Son *Étude approfondie sur deux équations fondamentales du calcul différentiel* (1855), où il essaie de prouver l'existence de la dérivée pour toutes les fonctions continues, est pleine d'idées fécondes, quoiqu'elle n'aboutisse pas à la conclusion voulue par

l'auteur. L'*Exposé géométrique du calcul différentiel et du calcul intégral* (1861-1863) est le résumé et le couronnement de nombreuses recherches antérieures de géométrie cinématique. Dans ces recherches et dans ce livre, Lamarle trouve ou retrouve presque intuitivement une foule de théorèmes nouveaux ou anciens, en regardant une courbe comme engendrée par un point mobile sur la tangente à la courbe, tandis que la tangente s'infléchit par un mouvement de rotation autour du point mobile.

E. Catalan (1814-1894), bien que né à Bruges, est Français et la plus grande partie de sa carrière (1814-1865) s'est passée en France. Mais de 1865 à 1884, il a été professeur à l'Université de Liége et c'est pendant les trente dernières années de sa vie qu'il a publié ses mémoires capitaux. Nous citerons ici ses *Recherches sur quelques produits infinis de la théorie des fonctions elliptiques* (1873); son travail sur la constance G (1883), qui touche à celle des Eulériennes; ses dix Mémoires sur les polynômes de Legendre (1876-1892), dont les derniers surtout sont très remarquables; enfin, son étude sur la transformation apsidale et la surface des ondes (1871). De 1874 à 1880, Catalan a publié le recueil périodique NOUVELLE CORRESPONDANCE MATHÉMATIQUE (six volumes).

J.-B. Liagre (1815-1891), qui a succédé à Quetelet comme secrétaire perpétuel de l'Académie royale de Belgique (1874-1891), n'a guère écrit en mathématiques que sur les applications du calcul des probabilités aux institutions de prévoyance (1853-1862). On lui doit un *Calcul des probabilités et théorie des erreurs avec des applications aux sciences d'observation en général* (1852), où, il faut bien l'avouer, la partie pratique est mieux exposée que la partie théorique.

M. Schaar (1817-1867), Luxembourgeois comme Meyer et Brasseur, fut un vrai analyste. Il s'était formé seul, surtout en étudiant les *Recherches arithmétiques* de Gauss et les travaux de Cauchy et d'autres géomètres sur les Eulériennes. Il a publié sur ces dernières fonctions plusieurs notes dont les résultats sont devenus classiques; pour la formule de Stirling, en particulier, il a indiqué une limite supérieure de l'erreur qu'elle comporte quand on s'arrête à un terme convenablement choisi. Les recherches de Schaar sur l'arithmétique supérieure, notamment

sur la théorie des résultats quadratiques, sont plus abstruses encore : elles contiennent, entre autres choses, trois démonstrations de la loi de réciprocité des résidus quadratiques. Schaar a été successivement professeur aux Universités de Gand (1854-1857), de Liége (1857-1864) et de Gand encore (1864-1867).

H. Limbourg (1833-1860), le disciple et continuateur de Schaar dans la théorie des Eulériennes, est l'auteur de la *Théorie de la fonction gamma* (1859), monographie remarquable où il parvient à définir cette fonction par ses propriétés. On lui doit ensuite une étude sur la série de Stirling (1860), où il indique le moyen d'en déduire la valeur de gamma avec la plus grande approximation ; il a complété ainsi l'œuvre de Schaar.

L. Houtain (1828-1880). L'injustice des hommes a empêché Houtain d'arriver à l'enseignement supérieur ; mais son livre, le plus savant et le plus rigoureux que l'on eût jamais publié en Belgique sur l'analyse à l'époque où il a paru (1853), prouve qu'il était plus digne d'occuper une chaire d'analyse que plusieurs de ses contemporains. Ce livre est intitulé : *Théorie des solutions singulières des équations différentielles et aux dérivées partielles.*

F. Dauge (1829-1899), professeur à l'Université de Gand de 1857 à 1898, y a créé le cours de méthodologie mathématique, dont les idées fondamentales ont pénétré directement ou indirectement tout l'enseignement mathématique des collèges et des athénées belges. Dauge a fait paraître deux éditions de son cours (1883 ; 1896) et quelques articles qui s'y rattachent.

Ph. Gilbert (1832-1892), professeur à l'Université catholique de Louvain de 1855 jusqu'à sa mort, a honoré sa patrie d'adoption (il était d'origine française) par de beaux travaux d'analyse, de géométrie, de mécanique, de physique mathématique et d'histoire des sciences. Nous citerons, en analyse, ses recherches sur les Eulériennes, où il trouve une série nouvelle et simple pour la fonction de Binet, puis le beau mémoire où il corrige et complète la *Nova Methodus* de Jacobi pour l'intégration des équations aux dérivées partielles du premier ordre ; en géométrie infinitésimale, un mémoire sur la théorie des surfaces (1869). En mécanique, le

travail capital de Gilbert, celui qui lui a valu d'être nommé Correspondant de l'Institut de France, est son *Mémoire sur l'application de la méthode de Lagrange à divers problèmes de mouvement relatif* (1882) où l'on trouve la théorie du barogyroscope, instrument inventé par lui pour mettre en évidence le mouvement de rotation de la terre par rapport aux étoiles fixes. En physique mathématique, les recherches de Gilbert sur la diffraction sont devenues classiques. En histoire des sciences, il est l'auteur de l'étude la plus approfondie qui existe sur le procès de Galilée et de diverses biographies (Pagani, Chasles, Puiseux, Foucault, etc.).

F. Folie (1833-1905). Par ses travaux astronomiques, Folie appartient à la génération contemporaine; par ses travaux de mécanique rationnelle sur une théorie nouvelle du mouvement d'un corps solide (1865-1867), sa *Géométrie supérieure cartésienne* (1872) et sa *Théorie des faisceaux* (1878), on peut le rattacher à la période précédente. L'idée fondamentale de la géométrie supérieure cartésienne consiste à couvrir toutes les courbes du quatrième ordre et certaines courbes d'ordre supérieur, d'un *grillage* de droites analogues à celles que l'on rencontre dans l'équation $\delta_1 \delta_2 \delta_3 - k\, d_1 d_2 d_3 = 0$ des cubiques, les δ et les d étant linéaires. L'auteur a abandonné ses recherches après en avoir esquissé le principe et les applications possibles.

Divers. Dans une histoire complète des mathématiques en Belgique, il faudrait citer ici, outre les précédents, un certain nombre de géomètres qui ont écrit sur l'analyse, la géométrie, la mécanique rationnelle ou le calcul des probabilités, des ouvrages, des mémoires ou des articles suffisamment originaux : Adan, Andries, Annoot, Boudin, Bouvier, Carbonnelle, Dagoreau, Delbœuf, Dubois, Faux, Guinard, Houzeau, Kumps, Le François, Lemaire, Mailly, Manderlier, Manilius, Martynowski, Meier, Noël, Pâque, Pioch, Joseph Plateau, Ernest Quetelet, Simonis, Snoeck, Steichen, B. Valérius, Van der Mensbrugghe, Wezel. La plupart ont abandonné les mathématiques pour les sciences physiques; quelques-uns ont vu leur carrière prématurément interrompue par la mort; d'autres, après un généreux effort au début, ont abandonné toute recherche personnelle.

III. Les Contemporains

Nouveaux périodiques. La plupart des travaux dont nous avons parlé jusqu'ici ont été publiés dans les Bulletins et les Mémoires de l'Académie royale de Belgique, dans la Correspondance mathématique et physique de Quetelet et, enfin, dans les Mémoires de la Société royale des Sciences de Liége. Depuis 1874 jusqu'à l'époque actuelle, les savants belges ont eu à leur disposition de nouveaux recueils périodiques : la Nouvelle Correspondance mathématique (1874-1880; 6 volumes) de Catalan, déjà citée, Mathesis (1881-1906; 26 volumes) fondée par MM. Mansion et Neuberg, les Annales de la Société scientifique de Bruxelles (1877-1906; 30 volumes), la Revue des Questions scientifiques (1877-1906; 60 volumes). Quelques articles importants ont été publiés dans la Revue de l'Instruction publique en Belgique (1853-1906).

Le lieutenant-général **J. De Tilly** (1837-1906) a publié trois mémoires capitaux sur les principes fondamentaux de la géométrie et de la mécanique euclidiennes et non euclidiennes : *Études de mécanique abstraite* (1868); *Essai sur les principes fondamentaux de la géométrie et de la mécanique* (1878); *Géométrie analytique générale* (1892), dont l'ensemble constitue, avec les notes moins étendues qui les complètent, le travail le plus philosophique qui ait paru sur la matière, principalement pour la géométrie. Dans sa *Balistique* (1874), il a soumis à une critique tout aussi pénétrante la théorie des erreurs accidentelles et, dans un discours *Sur les notions de force, d'accélération et d'énergie en mécanique* (1887), il a donné une solution claire et naturelle du problème de la conciliation du déterminisme avec le libre arbitre. On lui doit, en outre, un grand nombre de notes d'analyse, de géométrie et de mécanique pure et appliquée, le *Rapport séculaire sur les travaux mathématiques de l'Académie royale de Belgique*, de 1772 à 1872, et une belle notice sur Lamarle.

J. Neuberg, né en 1840, professeur à l'Université de Liége, a publié depuis quarante ans un nombre prodigieux de notes et de mémoires d'analyse et de géométrie, plusieurs ouvrages didactiques, sans compter ceux auxquels il a collaboré : *Trigo-*

nométrie et *Géométrie analytique* de Casey; *Traité de Géométrie* de Rouché et Comberousse, etc., etc. Il a contribué puissamment au développement de la géométrie récente du triangle et de celle du tétraèdre, tant par de nombreuses recherches personnelles qu'en coordonnant en corps de doctrines tout ce qui a paru dans ce domaine; il les a étudiées l'une et l'autre vraiment à fond dans leurs rapports avec les coniques, les quadriques, les cubiques planes ou gauches, les complexes. On lui doit aussi des recherches nombreuses sur les transformations, sur la géométrie cinématique, sur les surfaces anallagmatiques, etc., etc.

J.-A. Carnoy (1841-1906) n'a publié qu'un petit nombre de mémoires originaux, mais il a fait paraître trois manuels universitaires qui ont eu un grand succès en Belgique et à l'étranger : le *Cours d'Algèbre supérieure* (deux éditions, 1892, 1900), le *Cours de Géométrie analytique plane* (sept éditions, 1872, 1876, 1880, 1885, 1891, 1899, 1904) et le *Cours de Géométrie analytique à trois dimensions* (1872, 1874, 1882, 1889, 1905). Le Cours d'Algèbre supérieure de Carnoy contient, outre la théorie des équations, le seul précis d'invariantologie qui ait été publié en français, à part la traduction de la *Higher Algebra* de Salmon. Les livres de Carnoy sont surtout remarquables au point de vue de la clarté de l'exposition. Dans les endroits difficiles, ils laissent parfois à désirer au point de vue de la rigueur.

J. Graindorge (1843-1896), outre un assez grand nombre de notes mathématiques, a publié des ouvrages didactiques élémentaires (en collaboration avec Falisse), puis son Cours de Mécanique de l'Université de Liége (3 volumes). Mais il s'est surtout fait connaître à l'étranger par son *Mémoire sur l'intégration des équations aux dérivées partielles des deux premiers ordres* (1872) et par son *Mémoire sur l'intégration des équations de la mécanique* (1871; deuxième édition augmentée en 1890).

P. Mansion, né en 1844, professeur à l'Université de Gand, est l'auteur de plusieurs ouvrages didactiques et de notes et mémoires très nombreux sur les diverses parties des mathématiques. Nous citerons les écrits suivants : *Théorie de l'élimination entre deux équations algébriques, au moyen des déterminants* (1884); *Sur l'évaluation approchée des aires planes* (1881-1886); *Théorie de la multiplication et de la transformation*

des fonctions elliptiques (1870); *Sur la méthode d'Abel pour l'inversion de la première intégrale elliptique, dans le cas où le module a une valeur imaginaire complexe* (1903); *Théorie des équations aux dérivées partielles du premier ordre* (1875; édition allemande, 1892); *Premiers principes de la Métagéométrie* (1896); *Démonstration du théorème de Jacques Bernoulli* (1902); Biographies de Clebsch, Catalan, Gilbert, Hermite, etc.; études critiques sur les principes de la géométrie et de la mécanique.

Ch. Lagrange, né en 1851, s'est occupé successivement ou simultanément de mathématiques, de physique, de physique du globe, de mécanique céleste, d'histoire et de philosophie des sciences. Les mémoires où il expose, démontre et complète, en les précisant, les recherches de Wronski sur la mécanique céleste (1882), sur la loi suprême (1884) et sur le problème universel et un autre problème relatif à l'intégration des équations différentielles (1886) semblent les meilleures contributions de l'auteur à l'analyse mathématique.

C. Le Paige, né le 9 mars 1852, professeur à l'Université de Liége, a publié de nombreux écrits sur la théorie des formes algébriques et sur la géométrie supérieure, les premiers servant pour ainsi dire de support et d'instrument pour étudier de plus en plus profondément l'homographie et l'involution du troisième ordre. Le couronnement de ces travaux a été la découverte de la construction linéaire d'une surface du troisième ordre (1883), qui a valu à son auteur le prix quinquennal des sciences physiques et mathématiques (1879-1883). Le Paige a publié des notices érudites sur l'histoire des mathématiques, en particulier sur Sluse et Wendelin.

J. Massau, né le 9 avril 1852, professeur de mathématique rationnelle à l'Université de Gand, est l'auteur d'un ouvrage considérable et très original intitulé : *Mémoire sur l'intégration graphique et ses applications* (1877-1886 ; supplément, 1889; complément et continuation dans une foule de notes ultérieures). Dans cet ouvrage, qui lui a valu le prix quinquennal des sciences physiques et mathématiques (1889-1893), l'auteur unifie et généralise les procédés de la nomographie, de la statique graphique et de l'intégration approchée des équations différentielles et aux dérivées partielles. Il a aussi publié un *Cours de mécanique*

rationnelle où il fait largement usage des vecteurs et des transformations géométriques, et où il étudie et rapproche les méthodes voisines. L'Académie des Sciences de Paris lui a décerné, en 1906, le prix Wilde.

Ed. Goedseels, né en 1857, administrateur-inspecteur de l'Observatoire d'Uccle et professeur à l'Université de Louvain, a publié un grand nombre de notes sur les mathématiques pures ou appliquées. Il a réuni les principaux résultats de ses recherches dans sa *Théorie des erreurs d'observation* (1902). Il y expose, sous une forme personnelle, les méthodes de Cauchy et de Tobie Mayer, celle-ci de manière à la faire sienne. Ce qui est plus important encore, il y prouve, sans faire intervenir aucune loi de probabilité des erreurs accidentelles, que la méthode des moindres carrés donne certainement les valeurs les plus approximatives pour les inconnues, quand on calcule, non les approximations linéaires, mais les approximations quadratiques.

E. Cesáro (1859-1906). Si l'Italie ne nous l'avait repris, il y aurait lieu de citer ici Ernest Cesáro, professeur à l'Université de Naples, associé de l'Académie royale de Belgique, élève de son frère G. Cesáro, l'éminent cristallographe, et de Catalan. Il a publié, lorsqu'il était encore étudiant à l'Université de Liége, de nombreuses notes originales d'analyse et de géométrie infinitésimale, et des recherches d'arithmétique asymptotique qui constituent un travail de premier ordre.

Jacques Deruyts, né le 18 mars 1862, professeur à l'Université de Liége, s'est occupé plus que personne en Belgique d'invariantologie. Il a résumé une grande partie de ses recherches dans son *Essai d'une théorie générale des formes algébriques* (1891) et dans quelques notes ultérieures; il y donne une solution complète et relativement simple de la recherche des formes invariantes d'un système de formes algébriques à un nombre quelconque de séries cogrédientes de variables, en passant par les covariants primaires et les semi-invariants.

François Deruyts (1864-1902), élève de Le Paige comme son frère aîné, s'est surtout occupé de Géométrie supérieure. Son travail le plus étendu est son *Mémoire sur la théorie de l'involution et de l'homographie unicursale* (1890), qu'il a com-

plété dans des mémoires ultérieurs où il s'occupe des groupes neutres des involutions par des méthodes très simples. Dans sa trop courte carrière comme professeur de Géométrie supérieure à Liége, il a formé quelques élèves parmi lesquels il faut citer **M. Fairon**. M. Fairon a représenté sur des courbes rationnelles planes ou gauches, des systèmes de formes algébriques des quatre premiers degrés.

Cl. Servais, né le 16 octobre 1862, professeur à l'Université de Gand, est l'un des principaux représentants de la Géométrie projective synthétique à notre époque. On peut citer parmi ses travaux, son mémoire *Sur la Courbure et la Torsion dans la collinéation et la réciprocité;* trois études constituant les fondements d'une géométrie projective imaginaire *(Sur les imaginaires en géométrie; sur le système focal; sur la projectivité imaginaire)*, où il démontre une foule de propriétés nouvelles des cubiques gauches; deux mémoires sur les faisceaux de coniques et de quadriques où il ne recourt nullement à la théorie des limites ni au principe de continuité de Poncelet. Dans son *Cours de Géométrie analytique* (1902; seconde édition, 1906), il expose plus systématiquement et plus logiquement qu'aucun autre géomètre, le principe des signes, et les notions relatives aux éléments à l'infini ou imaginaires.

M. Stuyvaert, né le 30 juillet 1866, a étudié les cubiques et les quartiques planes par l'analyse, dans un assez grand nombre de notes et de mémoires ; mais il faut remarquer surtout parmi ses écrits son *Étude de quelques surfaces algébriques engendrées par des courbes du deuxième ou du troisième ordre* (1902) et plus encore ses *Recherches relatives aux connexes de l'espace* (1901) et quelques notes récentes qui s'y rattachent. En 1906, la classe des sciences de l'Académie royale de Belgique lui a décerné le prix François Deruyts.

Ch.-J. de la Vallée Poussin, né le 14 août 1866, professeur à l'Université de Louvain, s'est mis rapidement au premier rang des analystes belges par les nombreux et importants travaux qu'il a fait paraître depuis quinze ans. En laissant de côté une foule de notes d'analyse infinitésimale et d'arithmétique supérieure, et sans parler non plus de son remarquable *Cours d'analyse infinitésimale* (1898-1899; 2e édition, 1903-1906), on

peut signaler trois sujets de recherches qui témoignent surtout de son originalité : la question de l'existence de l'intégrale d'une équation différentielle où la dérivée de la variable dépendante est égale à une fonction discontinue de la variable indépendante et de la variable dépendante (1892-1893) ; la réduction des intégrales multiples généralisées (1899) ; la détermination du nombre des nombres premiers inférieurs à une limite donnée (1889). Ces travaux lui ont valu le prix décennal des sciences mathématiques (1894-1903).

A. Demoulin, né en 1869, professeur à l'Université de Gand, quoique jeune encore, a écrit un nombre considérable de mémoires et de notes substantielles sur la géométrie infinitésimale, euclidienne ou non euclidienne, des courbes, des surfaces, des congruences ou des complexes ; il y complète des recherches où d'illustres mathématiciens contemporains avaient laissé des lacunes, y résout des problèmes qui avaient résisté à ses devanciers ; il découvre des propriétés nouvelles. Que citer dans cet ensemble d'études aussi variées qu'intéressantes ? Bornons-nous à signaler ses recherches sur les surfaces minima et ses *Principes de géométrie anallagmatique et de géométrie réglée intrinsèque* (1905) dont il a déjà fait de belles applications à la théorie des sphères. L'Académie des Sciences de Paris lui a décerné, en 1906, le prix de Joest.

C. Wasteels, Beaupain, Mathy. C. Wasteels a publié des notes courtes, mais substantielles, rigoureuses et complètes sur des questions de géométrie générale (1901-1902), et aussi sur l'analyse infinitésimale. Beaupain a publié une douzaine de mémoires étendus sur des sujets difficiles d'analyse, presque tous apparentés à la théorie des eulériennes. Mathy s'est occupé surtout des fonctions elliptiques et de leurs applications à la géométrie, à la mécanique rationnelle et à la physique mathématique.

Divers. Outre les précédents, beaucoup d'autres géomètres ont écrit des ouvrages, des mémoires ou des articles plus ou moins originaux dans les recueils belges et étrangers. En voici une liste sommaire inévitablement très incomplète : Ancion, Andrien, Barbette, Bergmans, E. Bertrand, Boset, Brahy, Breithof, Cambier, Casteels, G. Cesáro, Charlier, Chomé, Claeys, Collette,

Colart, Compère, Coppens, De Donder, de Locht, Delsaux, Demanet, Deprez, Derousseau, Dutordoir, Even, Fagnart, Falisse, Fréson, Gelin, G. Gérard, Ghuys, Ghysens, Gob, Hanocq, Klompers, Lebeau, Lecointe, Ledent, Legrand, Leman, Liénard, Listray, Lorent, Malengreau, Mandart, Merlin, Meurice, Mineur, Mister, Moreau, Namur, Pasquier, Petit-Bois, Philippot, Postula, Ronkar, Rose, Saurel, Sautreaux, Schoentjes, Soons, Thiry, H. Van Aubel, A. Van Biervliet, Van Deuren, Verbessem, Verniory, J. Wasteels, etc.

Histoire des mathématiques. Nous avons déjà cité quelques écrits sur l'histoire des mathématiques à propos de Gilbert, De Tilly, Mansion, Le Paige. Nous devons y ajouter les deux volumes de Quetelet intitulés : *Histoire des sciences mathématiques et physiques chez les Belges* (Bruxelles, Hayez, 1864); *Sciences physiques et mathématiques chez les Belges au commencement du XIXe siècle* (Bruxelles, Thiry, 1866); ceux que Mailly a publiés sur l'histoire de l'Académie avant sa réorganisation (1883; t. XXXIV et XXXV des Mémoires in-8° de l'Académie royale de Belgique), et enfin, dans *Cinquante ans de liberté,* l'esquisse de l'histoire des mathématiques en Belgique, de C. Lagrange (Bruxelles, Weissenbruch, 1881, t. II, pp. 203-275).

On doit au **R. P. Thirion,** S. J., une foule de notices historiques sur la physique et les physiciens, l'astronomie et les astronomes, puis l'excellent ouvrage : *L'évolution de l'astronomie chez les Grecs* (Paris, Gauthier-Villars, 1900), le seul où l'on ait tenu compte des recherches modernes des érudits sur la matière.

Le **R. P. Bosmans,** S. J., a fait paraître, dans les recueils de la Société scientifique de Bruxelles, des notices ou des notes plus fouillées et plus exactes que celles de ses devanciers surtout sur la vie et les écrits de mathématiciens du XVIe et du XVIIe siècle : Michel Coignet, Grégoire de Saint-Vincent, Snell, Adrien Romain, Ticho Brahé, Van Langren, Viète, Albategnius, Dithmarus, Regiomontanus, Galilée, etc. (1).

(1) Pour les renseignements bibliographiques sur l'histoire des mathématiques et des mathématiciens belges, nous renvoyons aux *Notices biographiques et bibliographiques* de l'Académie royale de Belgique (1854, 1874, 1886, 1896); au *Rapport séculaire* de M. De Tilly et aux JAHRBÜCHER ÜBER DIE FORTSCHRITTE DER MATHEMATIK (1868-1904).

Conclusion

Après Stevin, Grégoire de Saint-Vincent et Sluse, la science européenne n'a plus à s'inquiéter des recherches des géomètres belges jusqu'à 1830; après 1830, les travaux de Schaar et de Limbourg (fonction gamma), de Gilbert (barogyroscope), de De Tilly (principes de la géométrie et de la mécanique), de Neuberg (géométrie du triangle et du tétraèdre), de Le Paige (surfaces du troisième ordre), de Massau (intégration graphique), de Goedseels (méthode des moindres carrés), de J. Deruyts (semi-invariants), de Servais (géométrie synthétique), de la Vallée Poussin (nombres premiers), de Demoulin (géométrie anallagmatique intrinsèque) font partie intégrante essentielle de la science mathématique moderne.

P. Mansion,
Professeur à l'Université de Gand.

BIBLIOGRAPHIE

I

O. Staude. Analytische Geometrie des Punktes, der geraden Linie und der Ebene (Teubner's Sammlung von Lehrbüchern auf dem Gebiete der mathematischen Wissenschaften mit Einschluss ihrer Anwendungen, Band XVI). Un volume in-8° de VIII-347 pages, 387 figures. —Leipzig, Teubner, 1905.

M. O. Staude se propose d'écrire un livre sur la théorie des surfaces du second ordre dans la collection des traités sur les sciences mathématiques, que la maison Teubner a entrepris de publier en même temps que l'encyclopédie des sciences mathématiques. L'ouvrage actuel doit lui servir d'introduction. C'est une monographie consacrée à la géométrie analytique du point, de la ligne droite et du plan.

Le livre a pour objet de faire connaître les définitions et le maniement des divers systèmes de coordonnées dans le plan et dans l'espace. L'auteur suit autant que possible l'ordre historique, il s'élève des coordonnées cartésiennes aux coordonnées projectives.

L'ouvrage est remarquablement clair et complet; l'auteur n'a rien voulu laisser dans l'ombre de ce que l'on est souvent obligé de passer, faute de temps, dans l'enseignement universitaire. Son livre rendra assurément les plus grands services aux élèves qui tiennent à bien approfondir les définitions et les principes.

Le livre se termine par des notes. L'auteur y a réuni quelques questions sur les déterminants et les équations linéaires, qui sont nécessaires pour la lecture de l'ouvrage mais ne rentrent pas dans la matière du traité. On y trouve enfin, au point de vue historique, les renseignements les plus utiles sur les sources.

C. V. P.

II

La Géométrie analytique générale, par H. Laurent. Un vol. in-4° de VII-151 pages. — Paris, Hermann, 1906.

Cet ouvrage étend à l'espace à n dimensions les définitions et les problèmes fondamentaux de la géométrie classique. Cette généralisation, théoriquement assez aisée, offre des difficultés de calcul où l'auteur trouve occasion de manifester son esprit de méthode et son originalité. Il donne deux formes nouvelles d'une théorie de l'élimination. Il démontre et généralise un théorème que Chasles croyait inaccessible à l'analyse, et dont Liouville avait donné une première démonstration.

Dans l'introduction, dans le chapitre IV, intitulé *Incursion dans le domaine concret*, l'auteur fixe son point de vue relativement aux rapports de la géométrie théorique avec l'espace réel : la géométrie ne doit pas prendre son point de départ dans une idéalisation de l'espace sensible. Elle est une hypothèse qu'on applique. « Je ne pose aucun axiome, je n'ai pas besoin d'axiomes, je ne fais que des hypothèses et j'examine à la fois les conséquences de mes hypothèses et des hypothèses contraires. »

La géométrie sera donc édifiée sans appel à l'expérience : ce sera une branche de la théorie des nombres. Dans un système de géométrie à n variables, un point est un ensemble de n nombres x_1 x_2... x_n, appelés coordonnées du point. Si les coordonnées d'un point sont toutes fonctions d'un paramètre arbitraire, l'ensemble de ces points constitue une ligne, etc... Les dénominations points, lignes, plans, droites, espaces sont donc dénuées de toute signification spatiale ; elles n'ont d'autre but que de faciliter les énoncés. Une substitution effectuée sur les coordonnées des points d'un ensemble s'appelle un déplacement. Si cette substitution est une transformation orthogonale, les distances (notion généralisée) et les angles sont des invariants : on dit que le déplacement s'est effectué sans changement de volume.

On peut appliquer à l'espace réel le système de géométrie développé sur ces données purement rationnelles; il suffit de faire les deux hypothèses suivantes : la position d'un point de l'espace peut être fixée au moyen de trois coordonnées ; tout déplacement d'un corps correspond à une substitution orthogonale effectuée sur les coordonnées de ses points. Moyennant ces deux hypothèses la géométrie générale devient la géométrie d'Euclide, et les mots qu'elle emploie prennent la signification concrète que nous leur connaissons.

Une remarque importante se rapporte à la première hypothèse. Concevons dans l'espace un système de surfaces quelconques, ne se coupant pas, et tel que par chaque point passe une de ces surfaces ; numérotons-les en employant les nombres de l'ensemble continu $-\infty$, $+\infty$. Supposons encore deux autres systèmes analogues. Les numéros des trois surfaces qui se coupent en un point seront les coordonnées de ce point. « Le plan étant une surface du premier degré, sa définition est celle d'une surface presque quelconque, puisque les plans $x_1 =$ constante, $x_2 =$ constante, $x_3 =$ constante sont des surfaces arbitraires simplement assujetties à ne pas se couper dans une même série. Il en résulte que la géométrie classique peut s'établir en appelant plan cette surface presque arbitraire, et droite une ligne presque arbitraire aussi. » Ces propositions sont rigoureusement vraies si on les applique à la géométrie euclidienne classique où ni la notion de distance ni celle d'angle ne sont définies. Nous éprouverions quelque difficulté à les appliquer à nos perceptions spatiales où les notions de distance et d'angle sont des réalités, sinon définies, au moins nullement arbitraires.

La seconde hypothèse, celle qui identifie le déplacement d'un corps avec une transformation orthogonale de coordonnées, conduit aux formules euclidiennes. D'autres modes de substitution sont possibles : ils donneront naissance à autant de néo-géométries différentes.

F. W.

III

La Mécanique des phénomènes fondée sur les analogies, par M. Petrovitch, professeur à l'Université de Belgrade (Collection *Scientia*). Un vol. petit in-8° de 95 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1906.

Sous son mince volume, ce petit livre est gros d'idées, et d'idées fécondes. Rien ne saurait mieux définir son but que les quelques lignes suivantes empruntées à l'Introduction : « L'analyse d'une analogie entre des phénomènes divers fait ressortir d'elle-même la raison intime et commune à toutes les analogies ; celle-ci réside dans l'identité des rôles joués par certains éléments dans les phénomènes analogues : un angle, par exemple, peut jouer dans un phénomène le même rôle que la charge électrique dans un autre ; l'élongation d'un pendule, le même

rôle que la différence de niveau d'un liquide; la température, le même rôle que le potentiel électrique.

» Les questions qui s'imposent dès lors bien naturellement sont les suivantes : est-il possible de dégager en quelque sorte ces rôles de ce qui les rattache spécialement à telle ou telle espèce de phénomènes et de les présenter sous une forme à la fois assez simple et assez générale pour qu'ils puissent s'adapter à tous les phénomènes embrassés par une même analogie? Ces rôles ainsi schématisés, peut-on schématiser aussi les phénomènes d'un même groupe, en les réduisant à un schéma commun qui corresponde tantôt à l'un, tantôt à l'autre phénomène du groupe, suivant les significations concrètes que l'on donnera aux divers éléments de ce schéma? »

Au fond, la question revient à créer ce qu'on pourrait appeler des *modèles mathématiques* des phénomènes, par extension du terme de *modèle mécanique* appliqué à un mode de représentation, très en honneur chez les savants anglais, et dont la notion est aujourd'hui familière à quiconque s'occupe de théories physiques. Ces modèles mathématiques se ramènent d'ailleurs à un nombre assez restreint de types fondamentaux que le travail de M. Petrovitch met nettement en évidence.

L'auteur définit d'abord mathématiquement les groupes d'analogies comprenant des phénomènes régis par des équations différentielles, ou en termes finis, en même nombre et de même forme, et il en donne des exemples frappants en rapprochant des phénomènes empruntés aux diverses branches de la physique. Pour ne retenir qu'un de ces exemples, l'équation

$$\mathrm{L}\frac{di}{dt} = \mathrm{E} - \mathrm{R}i$$

peut être considérée comme celle d'un courant électrique si les lettres y ont les significations suivantes : i = intensité du courant; E = force électromotrice du circuit; L = coefficient de self-induction du circuit; R = résistance ohmique. Elle devient celle du mouvement autour d'un axe fixe d'une masse soumise à une résistance proportionnelle à la vitesse angulaire, si on y donne aux lettres les nouvelles significations que voici : i = vitesse angulaire; E = couple moteur; L = moment d'inertie; R = résistance du milieu. Il y a d'ailleurs une trentaine d'années que M. Lippmann a signalé l'analogie des principes de la conservation de la matière et de l'électricité et du principe de Carnot, qui peut se résumer dans le tableau suivant :

Nature du phénomène	Premier élément	Deuxième élément	Troisième élément
Attraction newtonienne.	Potentiel newtonien.	Quantité de matière.	Énergie de la pesanteur.
Électricité.	Potentiel électrique.	Quantité d'électricité.	Énergie électrique.
Chaleur.	Température absolue.	Entropie.	Quantité de chaleur.

Dès lors, pour constituer le schéma d'un groupe d'analogies, il s'agit de substituer aux phénomènes mécaniques, physiques, chimiques, etc., des phénomènes fictifs consistant dans les variations d'un certain nombre de variables caractéristiques en fonction de certaines variables indépendantes, les causes réelles étant remplacées par des causes fictives, définies par leurs relations avec les variables du phénomène, et les liaisons, par des relations fixes, données à l'avance, entre les variables du problème.

M. Petrovitch est ainsi amené à esquisser, d'une façon purement abstraite, une mécanique générale des causes et de leurs effets définis analytiquement, et cette étude le conduit à divers théorèmes généraux qui, par des particularisations diverses des variables y intervenant, fournissent autant de propositions valables dans différents domaines de la physique.

L'auteur en fait lui-même quelques applications à l'étude d'actions dues à des causes de nature dynamique connue, et indique, chemin faisant, diverses interprétations physiques pouvant être données des résultats obtenus. Par exemple, lorsqu'on étudie l'action simultanée de deux causes, l'une à variation indépendante, l'autre d'intensité proportionnelle à son objet direct, il montre que les équations obtenues s'appliquent soit au mouvement d'un treuil muni d'ailettes sous l'action d'un poids constant, soit au mouvement de l'électricité dans un circuit doué de résistance et de self-induction sous l'action d'une force électromotrice constante, soit encore à la transformation graduelle d'un composé défini sous l'action de deux causes, l'une constante, l'autre antagoniste proportionnelle à la quantité du corps transformé, etc. Notons en passant un schéma très intéressant emprunté à M. Sagnac qui y a été conduit pour expliquer certains phénomènes photochimiques. Abordant le cas des causes périodiques l'auteur établit, sous sa forme la plus générale, l'importante théorie de la synchronisation rencontrée pour

la première fois par Cornu à l'occasion de ses profondes études sur le mouvement des systèmes mécaniques à oscillations amorties.

M. Petrovitch termine par un aperçu des plus suggestifs sur l'adaptation des schémas qu'il a précédemment tracés aux phénomènes dont on a déterminé les variables caractéristiques (intensité d'un courant électrique, intensité d'un état thermique, optique, magnétique; intensité d'une radiation lumineuse, d'une odeur, d'une propriété chimique, physiologique; degré d'une maladie, etc.).

La principale difficulté gît dans la connaissance dynamique des causes provoquant les variations des variables caractéristiques du phénomène. On possède cette connaissance dans le cas des phénomènes purement mécaniques, dans celui aussi d'un grand nombre de phénomènes physiques dus à des causes appelées *pouvoirs*, *capacités, réactions, influences*, etc. L'auteur montre qu'on peut y joindre certaines causes chimiques continues, comme la tendance transformatrice dont l'intensité règle la vitesse de la réaction et qui varie au cours de celle-ci en fonction de la concentration du mélange considéré par rapport aux corps actifs et aux produits de la réaction, et aussi d'autres discontinues, comme la substitution à un élément d'un autre, homologue, entraînant certaines modifications des propriétés physiques ou chimiques, de sens connu; il y joint même l'action progressive de bacilles transformant un corps.

Lorsque la nature des causes d'un phénomène n'est pas entièrement connue, on peut néanmoins déduire de ce qu'on en sait certaines conséquences générales sur les lois du phénomène à un point de vue en quelque sorte qualitatif sinon quantitatif. C'est ainsi, par exemple, que, pour un grand nombre de propriétés physiologiques, on connaît le sens, parfois même la vitesse de leurs variations sous l'influence de divers facteurs. M. Petrovitch rend d'ailleurs son exposé plus frappant en recourant à quelques exemples où le mécanisme des phénomènes est conçu comme jeu de causes actives et passives dont on ne possède que des connaissances vagues: théorie des piles d'après Van 't Hoff et Arrhénius; action d'une cause secondaire sur le cours d'une maladie d'après M. Bouchard ; mécanisme des variations des éléments chlorés du suc gastrique d'après M. Winter; variations périodiques de l'intensité du parfum des fleurs d'après M. Mesnard. Il dit encore quelques mots de la superposition de plusieurs causes de même sens pour en faire l'application aux

températures d'ébullition des composés halogènes, de la symétrie des causes et de leurs effets pour montrer, d'après Curie notamment, le parti qu'on en peut tirer pour prévoir la possibilité de certains phénomènes, enfin de la détermination des causes donnant naissance à un phénomène connu.

« D'une manière générale, dit l'auteur en formulant ses conclusions, certaines particularités de l'allure d'un phénomène peuvent s'expliquer par des mécanismes communs à un grand nombre de phénomènes divers et ces mécanismes seraient fournis par les schémas généraux qui font l'objet de notre théorie. Ce genre d'explication pourra, d'ailleurs, représenter la réalité elle-même, ou être seulement admissible au point de vue analytique : ce sera à l'expérience ou à l'observation qu'il appartiendra de choisir parmi les schémas possibles celui qui rendra compte du plus grand nombre de faits. »

L'auteur signale même la possibilité d'étendre ce mode de coordination mathématique des faits à des cas où le phénomène résulte d'un grand nombre de causes souvent dues au hasard, d'effets individuels enchevêtrés les uns dans les autres, comme il arrive, par exemple, pour certains phénomènes sociaux.

Les aperçus très originaux dont ce petit livre est rempli ne manqueront certainement pas de provoquer de nouvelles recherches dans la même voie ; pour quiconque est soucieux de faire pénétrer plus avant l'instrument analytique dans le domaine des sciences de la nature il peut être la source des suggestions les plus heureuses et les plus fécondes ; sa lecture est d'ailleurs à la fois très facile et très attrayante.

M. O.

IV

Cours d'Astronomie, par H. Andoyer, Professeur à la Faculté des sciences. Première partie : *Astronomie théorique*. Un vol. in-8° de 232 pages. — Paris, Librairie scientifique A. Hermann, 1906.

L'astronomie théorique est une géométrie analytique dans laquelle les points sont les étoiles, et les surfaces, des sphères lumineuses comme le Soleil, ou opaques comme la Lune, les planètes, etc., celles-ci projetant derrière elles des cônes d'ombre. Le corps le plus compliqué est la Terre qui est assimilée à un ellipsoïde de révolution. La résolution des problèmes de cette

géométrie analytique astronomique comporte des développements en séries et relève des principes élémentaires de calcul différentiel.

Il résulte de là que si l'enseignement de l'analyse était approprié à ce genre d'applications, et si les astronomes avaient soin d'énoncer toujours clairement les problèmes qui s'y rencontrent, en fixant les données et les conditions particulières à chacun de ces problèmes et en précisant les inconnues qu'il s'agit de déterminer, celui qui posséderait bien l'analyse ne rencontrerait pas l'ombre d'une difficulté en astronomie.

L'expérience prouve qu'il n'en est pas ainsi.

L'analyse n'est pas toujours bien appropriée aux besoins de l'astronomie; aussi beaucoup de traités d'astronomie, et celui de M. Andoyer est du nombre, commencent-ils par un exposé complet de la trigonométrie sphérique. Encore la trigonométrie sphérique présente-t-elle le grave inconvénient de tenir exclusivement compte des valeurs absolues des grandeurs angulaires, et il en résulte parfois des ambiguïtés très gênantes. Le remède, à notre avis, serait de faire un emploi presqu'exclusif des coordonnées polaires.

Mais, si l'analyse est un peu en faute, nous devons reconnaître que les auteurs de traités d'astronomie ne sont pas tout à fait innocents. Que de fois les difficultés contre lesquelles se heurtent les étudiants tiennent surtout à l'imprécision des énoncés dont ils ne dégagent qu'à grand'peine les données du problème et le but où il tend! Il reste à coup sûr place au progrès dans l'exposé didactique de l'astronomie théorique.

Le livre de M. Andoyer contribuera certainement à réaliser ce progrès. L'auteur a, en effet, très nettement saisi les défauts auxquels nous faisons allusion, et les passages où il les corrige de façon toujours heureuse et souvent excellente sont trop nombreux pour que nous puissions songer à les signaler dans un bref compte rendu. D'ailleurs la manière de poser les questions et de les résoudre ne se recommande pas seulement ici par sa netteté et sa précision, elle porte, en maints endroits, un cachet personnel évident.

L'auteur s'est assimilé son sujet au point de se dégager des exposés routiniers : il ne se contente pas de répéter, même plus clairement, ce qu'on peut lire partout, il donne, à de vieilles questions, une forme nouvelle qui aide à en mieux saisir le sens et la portée.

L'étude de cet excellent ouvrage s'impose à quiconque veut

se tenir au courant de la littérature astronomique, et plus d'un astronome y trouvera, sinon du neuf, au moins des explications plus claires, plus rigoureuses et plus complètes de ce qu'il sait déjà. Quant aux débutants, le livre de M. Andoyer leur fournira toutes les matières formant l'enseignement supérieur habituel de l'astronomie théorique, et leur évitera bien des mécomptes et des difficultés.

E. G.

V

Traité de Physique, par O. D. Chwolson. Ouvrage traduit sur les éditions russe et allemande par E. Davaux, avec des *Notes sur la Physique théorique* par E. et F. Cosserat. T. I, second fascicule : *L'État gazeux des corps*. Un volume grand in-8° de IV, 409-559 pages, avec 60 figures dans le texte. T. II, second fascicule : *L'Indice de réfraction. Dispersion et transformations de l'énergie rayonnante*. Un volume grand in-8° de VIII, 203-431 pages, avec 157 figures dans le texte. — Paris, A. Hermann, 1906.

Nous avons présenté aux lecteurs de cette Revue (1), les deux premiers fascicules de cette œuvre considérable. Nous en avons indiqué le plan et la méthode, en insistant sur les qualités excellentes qui en font à la fois un recueil d'informations abondantes et sûres et un livre d'étude bien moderne et de grande valeur. Les deux fascicules qui viennent de paraître sont de tous points dignes des précédents. Après ce que nous avons dit dans notre premier compte rendu, il nous suffira d'indiquer ici leur contenu, sans revenir sur la qualité et la quantité des matériaux mis en œuvre ni sur la clarté et l'originalité de l'exposition.

Dans le second fascicule du tome I, l'auteur aborde, sans l'épuiser, l'étude des propriétés caractéristiques des gaz et celle des phénomènes principaux dont ils sont le siège. Le gaz parfait est étudié en admettant qu'il ne s'y produit aucun travail intérieur. Pour les gaz réels, on s'attache surtout à l'analyse des travaux relatifs à leur compressibilité à température constante, aux écarts qu'ils manifestent vis-à-vis de la loi de Mariotte. La dilatation des gaz réels, leur conductibilité calorifique, la déter-

(1) Livraison de janvier 1906, t. IX, troisième série, pp. 295-302

mination de leur chaleur spécifique, leur liquéfaction, etc., sont réservées au traité de la Chaleur. De même, les phénomènes acoustiques, optiques, magnétiques et électriques auxquels les gaz servent de supports, trouveront leur place naturelle dans les traités correspondants.

« Nous avons rassemblé ici, dit l'auteur, seulement ce qui pouvait être séparé des autres parties, comme particulièrement caractéristique de l'état gazeux de la matière, sans rompre la continuité d'un exposé systématique des propriétés de la matière en général. Nous ferons de même dans les deux parties suivantes, où nous aborderons l'étude de l'état liquide et de l'état solide des corps. » Voici un rapide aperçu des matières et de leur distribution.

Après avoir rappelé les propriétés fondamentales des gaz et défini le gaz parfait, l'auteur traite, dans le chapitre premier, de la détermination de la *densité des gaz et des vapeurs surchauffées :* Méthodes de Regnault, de Gay-Lussac et d'Hofmann, de Dumas, de Victor Meyer. L'étude des densités de vapeurs n'est qu'ébauchée.

Le chapitre II est consacré à la *Tension des gaz* : Loi de Boyle-Mariotte, premières recherches, travaux de Regnault; pressions inférieures à une atmosphère; travaux de Siljeström, de Mendéléieff, d'Amagat et de Fuchs; pressions très élevées : travaux de Natterer, Cailletet, Amagat. Compressibilité des mélanges. Température critique. Effet de la température sur la compressibilité des gaz, travaux d'Amagat. L'équation des gaz parfaits. Simple indication des formules de Van der Waals, Clausius, Sarrau.

Au chapitre III se développe l'étude des *baromètres :* baromètres à mercure, installation, correction et réduction des lectures; baromètres métalliques. Vient ensuite celle des *manomètres* et des *machines pneumatiques à mercure.*

Le chapitre IV a pour titre : *Corps à l'état gazeux en contact avec des corps à l'état gazeux, liquide ou solide.* Mélange des gaz; leur solubilité dans les liquides; appareils de recherche, résultats; dégagements des gaz dissous. Condensation, absorption, occlusion au contact des corps solides.

Les principes de la théorie cinétique des gaz sont exposés au chapitre V : Hypothèse sur laquelle repose cette théorie sous sa forme la plus simple; équation fondamentale; conséquences qu'on en tire relativement à l'interprétation de la loi de Mariotte, aux propriétés du produit *pv*, à la vitesse des molécules,

supposée la même pour toutes les molécules; à l'énergie d'un gaz; aux vitesses réelles des molécules (loi de Maxwell), au chemin moyen libre, au frottement intérieur, aux dimensions et au nombre des molécules, à l'interprétation de la formule de Van der Waals.

Le mouvement des gaz et leur dissociation font l'objet du chapitre VI : travail d'expansion et de compression d'un gaz; transformation adiabatique et isothermique. Écoulement d'un gaz par un petit orifice et par un tuyau étroit. Diffusion à travers une paroi poreuse, les corps solides, les liquides. Résistance des gaz au mouvement des corps solides qui les traversent; la navigation aérienne. Dissociation des gaz.

Le second fascicule du tome II poursuit l'étude de l'*énergie rayonnante*. Il s'ouvre par un chapitre sur l'*indice de réfraction* : méthodes diverses pour la détermination des indices de réfraction, leurs valeurs numériques, leur variation avec l'état de la substance. Pouvoir réfringent des mélanges et des solutions; réfractions moléculaire et atomique; réfraction dans les métaux; pouvoir réfringent et constante diélectrique.

Le chapitre suivant est consacré à la *dispersion* et forme un excellent traité de spectroscopie : Dispersion normale et anomale, partielle, totale et relative. Les spectroscopes à prismes, à réseaux et interférentiels, brèves indications. Mesure de la longueur d'onde. Les spectres d'émission et d'absorption des solides, des liquides et des gaz. Lois de distribution des raies et des bandes dans les spectres discontinus. Procédés et conquêtes de l'analyse spectrale. Influence du mouvement de la source. Le spectre solaire : taches, photosphère, chromosphère, protubérances, couronne. Les spectres de la lune, des planètes, des comètes, des étoiles, des nébuleuses. Application du spectroscope à la mesure de la vitesse radiale des astres. Spectres de l'aurore boréale, de la lumière zodiacale, de l'éclair, des étoiles filantes. Spectres ultra-violet et infra-rouge. Dispersion anomale. Couleurs des corps et des radiations. Achromatisme des prismes et des lentilles.

Une note *sur les méthodes modernes d'observation en analyse spectrale,* par M. A. de Gramont, complète cet exposé : Spectres de flamme, d'arc, d'étincelle; spectrophotographie et spectrographes à réseau. Spectre solaire.

La bibliographie qui clôt ce chapitre contient plus de 500 références.

Le dernier chapitre s'occupe des *transformations de l'énergie rayonnante* dans les phénomènes de fluorescence et de phosphorescence, dans les actions mécaniques et chimiques de la lumière, l'ionisation des gaz et la photographie.

J. T.

VI

Hegel, Haeckel, Kossuth und das zwölfte Gebot. Eine kritische Studie von O. D. Chwolson, prof. ord. an der kaiserlichen Universität zu St-Petersburg. Un vol. in-8° de 90 pages. — Braunschweig, Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, 1906.

Après avoir longtemps suivi des chemins parallèles, sans trop s'inquiéter l'une des autres, la philosophie et les sciences naturelles ont naguère opéré un rapprochement. Bon nombre de philosophes se sont mis à publier des essais où les sciences naturelles tiennent une large place, et dans plusieurs écrits consacrés à ces dernières, les considérations philosophiques apparaissent fréquemment.

Ce rapprochement avait fait naître les plus belles espérances. Que ne pouvait-on pas attendre de l'union féconde de la science et de la philosophie?

A entendre l'auteur de la brochure que nous analysons, ces espérances ont été entièrement frustrées, et le mariage n'a fait qu'une union mal assortie. Un exemple. Vous avez pu vous bercer de la douce illusion que la zoologie et l'histoire du monde allaient se prêter un mutuel concours. Aussi bien, le zoologiste étudie l'ontogénie, ou l'histoire du développement embryonnaire, et la phylogénie, ou l'histoire généalogique d'une espèce animale déterminée, et l'historien examine aussi l'histoire du développement d'une espèce spéciale, celle de l'*Homo sapiens*. Eh bien, écoutez-les : après qu'ils ont déclaré, le zoologiste que l'histoire du monde n'est qu'un chapitre de la science, et l'historien que le développement d'un individu ou d'une espèce animale appartient aussi à l'histoire du monde, entendez-les, dis-je, déclarer, le premier qu'il faut modifier ce qu'on enseigne de la migration des peuples parce que cet enseignement contredit les campagnes de Napoléon, et le second, que la théorie de la sélection est en opposition avec le fait que les insectes pondent des œufs ! !

En un mot, les philosophes et les historiens débitent sur les choses qui ressortissent aux sciences naturelles des énormités, et les savants ne sont pas moins absurdes dans leurs idées philosophiques.

D'où vient cet état d'esprit chez les uns et chez les autres? M. Chwolson n'hésite pas à le dire bien haut : parce que les uns comme les autres ont absolument perdu de vue le « douzième commandement » ! Qu'est-ce que le douzième commandement? On devinerait longtemps pour arriver à savoir que M. Chwolson donne ce titre au truisme que voici : « Vous n'écrirez jamais sur ce que vous ne comprenez pas. »

Voilà, selon M. Chwolson, la grande cause de la faillite de l'association entre les sciences et la philosophie. Certains philosophes écrivent sur les sciences sans y rien comprendre et les savants sont, plus que de raison, brouillés avec la logique.

On comprend qu'il faille démontrer pareille assertion et qu'il ne s'agit pas de lancer si grave accusation sans preuve. Mais d'autre part, il n'est pas possible d'épuiser la série des philosophes qui ont écrit en parfaite ignorance des sciences naturelles, ni celle des physiciens, chimistes, zoologistes, qui se sont piqués de philosophie et n'y ont vu que du feu. Il fallait donc se borner à quelques exemples typiques et M. Chwolson a pris — nous allions dire pour têtes de Turcs — Hegel, le philosophe bien connu, Haeckel, le fameux biologiste d'Iéna, et Kossuth, qui n'est pas l'homme politique, mais M. H. Kossuth, auteur d'un article *Einige Bemerkungen zu Häckels Welträtseln*, publié en 1903 dans la ZEITSCHRIFT FÜR PHILOSOPHIE UND PHILOSOPHISCHE KRITIK.

En ce qui concerne Hegel, M. Chwolson est très réservé, en vertu du principe *de mortuis aut nihil aut bene,* et il se contente de relever seulement dans les œuvres d'Hegel trois assertions étranges d'ordre scientifique.

Voici la première : « Les étoiles fixes sont une éruption du firmament » ; la seconde est ainsi formulée : « Il ne peut y avoir que sept planètes », et la dernière est la célèbre boutade : « Mais tout cela ne concorde pas avec les faits? Tant pis pour les faits ».

Si Hegel est relativement ménagé pour le relevé de ses infractions au douzième commandement, Haeckel est, en détail, passé au crible par M. Chwolson. C'est sur son fameux livre *Die Welträtsel* (Les Énigmes de l'univers) que l'opération a été pratiquée. M. Chwolson s'est contenté de contrôler les assertions

de Haeckel relatives aux sciences physiques, qui jouent, du reste, un grand rôle dans l'ouvrage du professeur d'Iéna.

Le résultat de l'examen de M. Chwolson a été, dit-il, de nature à faire dresser les cheveux sur la tête. Tout ce qui chez Haeckel a trait aux problèmes de la physique est faux, repose sur des méprises et témoigne d'une inconcevable ignorance des questions les plus élémentaires. Même des lois, qu'il proclame comme conductrices de sa philosophie, il ne possède pas les rudimentaires notions d'un écolier.

Ce jugement est raide, mais, il faut bien en convenir, il est motivé et M. Chwolson en démontre le bien fondé. Son appréciation sera, croyons-nous, partagée par tous ceux qui auront lu les pages 20 à 78 de son intéressant petit livre.

Outre une critique serrée et décisive des assertions vagues ou fausses de Haeckel, on trouve dans ces pages un exposé admirable des lois fondamentales de la conservation de la masse, de la conservation de l'énergie et surtout de la loi de la tendance de l'entropie vers un maximum. Nous recommandons ces pages lumineuses et profondes à ceux qui ne connaissent pas le livre du P. Carbonnelle : *Les confins de la science et de la philosophie*, où des vues semblables ont été exposées, il y a trente ans, avec une égale maîtrise. Incidemment, l'éminent physicien de Saint-Pétersbourg fait remarquer que ce ne sont ni MM. Papof ou Marconi qui ont inventé la télégraphie sans fil, mais bien MM. Hertz et Branly. A noter aussi que M. Chwolson signale spécialement parmi ceux qui ont fondé la chimie physique sur les principes de la thermodynamique, Gibbs, Planck, Ostwald, van 't Hoff, Nernst, van de Waals, Duhem, etc.

La dernière partie de l'essai du Dr Chwolson est, comme nous l'avons dit, consacrée à l'article que M. H. Kossuth a fait paraître en 1903, sur les *Énigmes de l'univers* de Haeckel. Ici, nous avons les infractions faites par un philosophe au douzième commandement, et M. Chwolson démontre que M. Kossuth, qui est peut-être bon philosophe, a écrit sur les sciences naturelles sans y comprendre grand'chose.

Ainsi, pour M. Kossuth la loi de la conservation de la masse d'un corps revient à cette autre : Le tout est égal à la somme de ses parties. Voilà le pauvre Lavoisier singulièrement travesti ! Et la loi de la conservation de l'énergie n'est pas autre chose que l'égalité de la cause et de l'effet ! M. Chwolson se contente de ce double exemple comme infraction au douzième commandement chez M. Kossuth. Il est vrai qu'il est typique.

La portée du petit livre de M. Chwolson va bien au delà des cas particuliers qu'il a visés. Aussi bien ceux-ci n'interviennent que comme exemple de la thèse qu'il a voulu démontrer, qui est que beaucoup de naturalistes font des incursions sur un terrain absolument inconnu pour eux.

Combien il a raison! Les trois quarts des conflits de la science et de la philosophie proviennent de ce que certains hommes de science ont la démangeaison de s'occuper de philosophie, sans y être absolument préparés. Aussi la plupart de leurs conclusions, dans cet ordre d'idées, sont-elles de purs paralogismes ; à chaque instant, ils oublient, pour ne parler que d'un point, que passer de la possibilité simple à l'existence est une grave erreur de logique. Et pourtant que de fois cette faute est commise!

Nous ne terminerons pas le compte rendu de l'ouvrage de M. Chwolson sans insister sur la clarté et la verve de son exposition qui rendent la lecture de son essai extrêmement intéressante, malgré la gravité du sujet traité.

J. G.

VII

Œuvres de Descartes, publiées par Ch. Adam et Paul Tannery sous les auspices du Ministère de l'Instruction publique. Tome VII, *Meditationes de prima philosophia ;* tome VIII, *Principia philosophiæ — Epistola ad G. Voetium — Lettre apologétique — Notæ in programma;* tome IX, *Méditations et Principes*, traduction française. Trois volumes in-4° de xviii-612; xviii-348, xiii-378; x-247, xx-358 pages. — Paris, Léopold Cerf, 1904 et 1905 (1).

Nous n'avons pas à apprendre aux lecteurs de la Revue des Questions scientifiques que Paul Tannery est mort le 27 novembre 1904 après avoir achevé, avec M. Ch. Adam, la publication des cinq volumes contenant la *Correspondance* de Descartes, et commencé celle des œuvres proprement dites. Le tome VII s'ouvre par la reproduction des paroles prononcées à ses obsèques par M. Adam, et le tome VIII s'ouvre lui-même par une notice sur *Paul Tannery et l'édition de Descartes,* où son collaborateur expose la grande part prise par Tannery à l'œuvre commune.

(1) Voir les comptes rendus des six premiers tomes dans la Revue des Questions scientifiques d'avril 1898, juillet 1899, juillet 1900, octobre 1901, octobre 1903 et juillet 1903.

Nous ajouterons qu'au tome IX, paru avant le tome VIII, se trouve le dernier acte de collaboration de Tannery, dans une note inachevée sur les Règles du choc des corps, d'après Descartes.

On sait que la règle absolue suivie dans cette édition est de ne publier, en dehors du texte même écrit par Descartes, que les traductions qui ont été revues et approuvées par lui. C'est pour ce motif que non seulement on s'en est tenu à la première édition de la traduction des *Méditations*, mais que même on ne l'a pas reproduite intégralement, parce que Clerselier n'y inséra les cinquièmes objections, dues à Gassend, et les réponses de Descartes, que malgré les instructions contraires de celui-ci. Par contre, les sixièmes objections et leurs réponses, parues en traduction, dès 1644, d'accord avec Descartes, qui les avait revues, figurent dans la nouvelle édition française, qui ne contient pas la lettre de Descartes au P. Dinet, ni les septièmes objections.

La fameuse querelle contre Voetius, que nous avons résumée à l'occasion de la *Correspondance*, occupe près de la moitié du tome VIII, par l'*Epistola ad Celeberrimum Virum D. Gisbertum Voetium* et la *Lettre apologétique aux Magistrats d'Utrecht;* ces deux pièces sont suivies des *Notæ in programma*.

La Lettre apologétique seule est donnée en français, avec texte latin comme annexe, en petits caractères. Ce n'est pas que cette Lettre ait été écrite primitivement en français; mais le texte latin qu'on possède est douteux, tandis que la traduction française a été approuvée par Descartes. Nous ne reviendrons pas d'ailleurs sur cette illustre querelle, plus intéressante dans la *Correspondance*.

Quant aux *Notæ*, elles constituent un examen d'un court programme, dû à Regius, ancien disciple de Descartes, et que beaucoup, comme le dit notre philosophe, croyaient reproduire ses opinions, alors qu'en réalité il les jugeait lui-même fausses et pernicieuses.

L'intérêt des *Notæ* étant purement philosophique, nous ne nous y arrêterons pas et parlerons de suite des *Principes de la Philosophie*.

Le texte original, on le sait, est en latin, et seul ce texte figure en gros caractères; mais Descartes avait approuvé une édition française, publiée en 1647, pour laquelle il avait écrit une lettre-préface, adressée à son traducteur, l'abbé Picot; elle figure donc en petits caractères dans le tome IX. M. Adam est sévère pour

cette traduction, en ce qui concerne les deux premières parties, d'un caractère presque exclusivement philosophique. Les deux dernières parties, de caractère plus scientifique, présenteraient plus d'intérêt, car elles paraissent avoir été revues par Descartes qui aurait ajouté ou modifié bien des passages. Une étude approfondie de ces livres des *Principes* exige donc le rapprochement des deux textes.

Cet ouvrage est bien connu, mais peut-être n'a-t-il pas, en réalité, beaucoup de lecteurs. Aussi signalerons-nous quelques points qui nous paraissent particulièrement intéressants.

Nous avons vu, dans la *Correspondance*, combien Descartes se laissa émouvoir par la condamnation de Galilée, et nous avons vu aussi que son ami Mersenne, le Minime, avait plus de fermeté. En réalité, Descartes entendait bien ne battre en retraite que d'une façon toute relative. On s'en rend compte ne fût-ce qu'en jetant les yeux sur les figures jointes aux *Principes* : sur la quatrième planche, nous voyons, en effet, le Soleil placé au centre d'une série de cercles figurant les trajectoires de Mercure, Vénus, la Terre, Mars, Jupiter et Saturne, audace que pallient les explications du texte, mais de façon fort subtile. La rubrique du n° 19 de la troisième partie affirme bien haut la négation du mouvement de la Terre : « Que je nie le mouuement de la Terre avec plus de soin que Copernic et plus de verité que Tycho » ; puis, après que le n° 24 a posé que les Cieux sont liquides, le n° 25 expose « qu'ils transportent avec eux tous les corps qu'ils contiennent », et le n° 26 : « que la Terre se repose en son Ciel, mais qu'elle ne laisse pas d'estre transportée par luy », ce qu'il développe en ces termes :

« Puis que nous voyons que la Terre n'est point soustenuë par des colomnes, ni suspenduë en l'air par des cables, mais qu'elle est enuironnée de tous costez d'vn Ciel tres-liquide, pensons qu'elle est en repos, et qu'elle n'a point de propension au mouuement, veu que nous n'en remarquons point en elle ; mais ne croyons pas aussi que cela puisse empescher qu'elle soit emportée par le cours du Ciel, et qu'elle ne suiue son mouuement sans pourtant se mouuoir : de mesme qu'vn vaisseau, qui n'est point emporté par le vent, ni par des rames, et qui n'est point aussi retenu par des ancres, demeure en repos au milieu de la mer quoy que peut estre le *flux ou reflux* de cette grande masse d'eau l'emporte insensiblement avec soy. »

Il en est de même de toutes les Planètes, mais « on ne peut pas proprement dire que la Terre ou les Planètes se meuuent,

bien qu'elles soient ainsi transportées », car le mouvement « n'est que le transport d'vn corps, du voisinage de ceux qui le touchent immediatement et que nous considerons comme en repos, dans le voisinage de quelques autres; mais, selon l'vsage commun, on appelle souuent, du nom de mouuement, toute action qui fait qu'vn corps passe d'vn lieu en vn autre; et, en ce sens on peut dire qu'vne mesme chose en mesme temps est meuë et ne l'est pas, selon qu'on détermine son lieu diversement ».

Mais ne voyez-vous pas un danger dans cet exposé? Voilà Terre et Planètes mobiles ou immobiles au même titre; or ne faut-il pas sauvegarder notre grand privilège d'être seuls immuables au centre du monde? N'ayez peur, le n° 29 est là pour tout remettre en place : « Que mesme en parlant improprement et suiuant l'vsage, on ne doit point attribuer de mouuement à la Terre, mais seulement aux autres Planetes ».

Lisez tout ce paragraphe et vous verrez comment on peut bien dire que même le Soleil et les Étoiles fixes se meuvent, mais qu'on ne saurait ainsi parler de la Terre que fort improprement, et vous savourerez sans doute cette conclusion ajoutée par Descartes à la traduction française : « Que si neantmoins cy-apres, pour nous accommoder à l'vsage, nous semblons attribuer quelque mouuement à la Terre, il faudra penser que c'est en parlant improprement, et au mesme sens que l'on peut dire quelquefois de ceux qui dorment et sont couchez dans vn vaisseau, qu'ils passent cependant de Calais à Douure, à cause que le vaisseau les y porte ».

« Après avoir osté par ces raisonnemens tous les scrupules qu'on peut auoir touchant le mouuement de la Terre, pensons que la matiere du Ciel où sont les Planetes, tourne sans cesse en rond, ainsi qu'vn tourbillon qui auroit le Soleil à son centre, et que ses parties qui sont proches du Soleil se meuuent plus vite que celles qui en sont éloignées jusques à une certaine distance, et que toutes les Planetes (au nombre desquelles nous mettrons desormais la Terre) demeurent tous-jours suspenduës entre les mesmes parties de cette matiere du Ciel. » Arrêtons-nous là : on voit suffisamment l'attitude de Descartes.

On sait qu'à côté des détracteurs de notre grand philosophe, il y a de ces admirateurs enthousiastes qui voient dans les *Principes* presque toute notre physique actuelle. Cette thèse a été soutenue avec science et talent par M. Parenty, directeur des Manufactures de l'État, dans un livre sur les *Tourbillons de*

Descartes et la Science moderne (1). Pour nous, qui admirons profondément la vive impulsion qu'il a donnée à la recherche d'une explication mécanique de l'univers, nous avons beaucoup de peine à voir tant de découvertes dans ses explications souvent bien étonnantes. Nous l'aimons mieux, bien qu'il se trompe encore grandement, quand il cherche simplement les lois du mouvement.

Ses deux premières lois de la nature sont fort bien posées : « Que chaque chose demeure en l'estat qu'elle est, pendant que rien ne le change. — Que tout corps qui se meut tend à continuer son mouuement en ligne droite » (2). Il appuie très heureusement celle-ci sur l'expérience de la fronde. Quand il veut déterminer les lois de la communication des mouvements, il est moins heureux : dans sa note précédemment signalée, Paul Tannery compare les conclusions de Descartes avec la réalité.

Avant d'arriver à un point de portée générale, les hypothèses explicatives en physique, signalons la netteté avec laquelle il a posé le principe de la théorie physiologique des émotions, la théorie de James-Lange, comme on dit couramment :

« Lors qu'on nous dit quelque nouuelle, l'ame juge premierement si elle est bonne *ou mauuaise* (3); et *la trouuant bonne*, elle s'en réjouit *en elle-mesme,* d'une joye *qui est purement* intellectuelle, et tellement indépendante des émotions du corps, que les Stoïques n'ont pû la dénier à leur Sage, *bien qu'ils ayent voulu qu'il fust exempt de toute passion.* Mais si tost que cette joye spirituelle vient *de l'entendement* en l'imagination, elle fait que les esprits coulent du cerueau vers les muscles qui sont autour du cœur, et là excitent le mouuement des nerfs, par lequel est excité vn autre mouuement dans le cerueau, qui donne à l'âme le sentiment ou la passion de la joye... Tout de mesme, lors que le sang est si grossier qu'il ne coule et ne se dilate qu'à peine dans... le cœur, il excite dans les mesmes nerfs vn mouuement tout autre que le precedent et qui... *est institué de la nature pour* donner à l'ame le sentiment de la tristesse, bien que *souuent* elle ne sçache pas elle-mesme ce que c'est qui fait qu'elle s'attriste; *et toutes* les autres causes *qui meuuent ces nerfs en mesme façon* donnent aussi à l'ame le même sentiment. Mais les autres mouuemens des mesmes nerfs luy font sentir d'autres

(1) Paris, 1903, Honoré Champion, éditeur.
(2) Seconde partie, n°s 33 et 39.
(3) Les mots en italiques ont été ajoutés dans la traduction française.

passions, à sçavoir celles de l'amour, de la haine, de la crainte, de la colère, etc... (1) »

Pour finir, voyons ce que dit Descartes des théories explicatives dans les sciences physiques.

Dès l'abord il prend soin de dire qu'il ne veut point assurer que celles qu'il propose sont vraies, et il ajoute de suite cette réflexion : « Ie desire que ce que j'écriray soit pris pour vne hypothese, laquelle est peut estre fort éloignée de la verité; mais encore que cela fust, je croiray avoir beaucoup fait, si toutes les choses qui en seront déduites, sont entierement conformes aux experiences : car si cela se trouue, elle ne sera pas moins vtile à la vie que si elle estoit vraye, *pour ce qu'on s'en pourra seruir en mesme façon pour disposer les causes naturelles à produire les effets qu'on desirera* » (2). Cette réflexion ne doit-elle pas faire plaisir à ceux qui repoussent toute hypothèse explicative et estiment qu'une théorie mathématique est tout ce qu'on peut désirer?

Après cette déclaration de principe, il dit qu'il va présenter une hypothèse qu'il croit absolument fausse, mais on peut douter qu'il soit ici bien sincère, car il s'agit d'une théorie cosmogonique, et l'on sait quelles raisons de prudence pouvaient l'induire à déclarer ne point douter « que le monde n'ait esté creé au commencement auec autant de perfection qu'il en a ». Néanmoins, dit-il, « nous ferons mieux entendre quelle est generalement la nature de toutes les choses qui sont au monde, si nous pouuons imaginer quelques principes qui soient fort intelligibles et fort simples, desquels nous facions voir clairement que les astres et la terre, et enfin tout le monde visible auroit pû estre produit ainsi que de quelques semences, bien que nous sçachions qu'il n'a pas esté produit en cette façon; que si nous le décriuions seulement comme il est, *ou bien comme nous croyons qu'il a esté creé* ».

Lorsque, plus loin, Descartes parle des choses que nos sens n'aperçoivent point, il déclare formellement qu'il suffit d'expliquer comment elles peuvent être, et, ajoute-t-il, c'est tout ce qu'Aristote a tâché de faire. « Comme un horologier *industrieux*, dit-il, peut faire deux montres qui marquent les heures en mesme façon et entre lesquelles il n'y ait aucune difference, en ce qui paroist à l'exterieur, qui n'ayent toutefois... rien de

(1) Quatrième partie, n° 190.
(2) Troisième partie, n° 44.

semblable en la composition de leurs roües : ainsi il est certain que *Dieu* a une infinité de diuers moyens, par chacun desquels *il peut auoir fait que* toutes les choses de ce monde *paroissent telles que maintenant elles paroissent, sans qu'il soit possible à l'esprit humain de connoistre lequel de tous ces moyens il a voulu employer à les faire* » (1); puis il revient sur l'égale utilité des vraies et des fausses hypothèses, pourvu que tous les effets des causes supposées se trouvent semblables.

Bien qu'il ajoute ensuite qu'on a néanmoins une certitude morale que toutes les choses de ce monde sont telles qu'il a montré qu'elles peuvent être, il semble qu'il y avait intérêt à rappeler combien le dogmatique Descartes tient parfois un langage se rapprochant de celui des adversaires les plus résolus des hypothèses explicatives.

G. Lechalas.

VIII

I Grandi Trafori alpini. — Fréjus, San Gottardo, Sempione ed altre Gallerie eseguite a perforazione meccanica, par l'ingénieur G.-B. Biadego. Un vol. in-8° de xv-1228 pages et un atlas de 30 planches. — Milan, Ulrico Hoepli, 1906.

M. l'ingénieur Biadego a consacré un ouvrage très documenté à l'étude des grandes traversées des Alpes, spécialement à celles du Fréjus (vulgairement du Mont-Cenis), du Saint-Gothard et du Simplon, mais aussi à celles de Sonnstein, de Pfaffensprung, de Laveno, de l'Arlberg, du Turchino, du Cremolino et de l'Albula. Des *considérations finales* développées font ressortir les principales conclusions à tirer de cette étude.

Les lecteurs de la Revue des Questions scientifiques ont été récemment mis au courant des questions les plus importantes que souleva le percement du Simplon, et nous n'avons pas l'intention d'entrer dans un examen détaillé de l'ouvrage de M. Biadego. Nous nous bornerons à indiquer sommairement le plan général suivi dans chacune de ses grandes études, puis nous recueillerons quelques considérations ou documents particulièrement intéressants dans ses considérations finales.

Voici d'abord, un sommaire type des diverses études spéciales :

Données générales. — Historique. — Opérations géodésiques.

(1) Quatrième partie, n° 204.

— Profils en travers de la galerie. — Contrat de construction. — Programme du travail. — Installations mécaniques et chantiers en général. — Installations pour la perforation mécanique. — Compresseurs d'eau ou d'air. — Excavation de la galerie d'avancement. — Nature géologique des terrains traversés. — Excavation à section complète. — Profils d'excavation et revêtements en maçonnerie. — Difficultés rencontrées. — Transports. — Ventilation et réfrigération. — Explosifs. — Main-d'œuvre. — Fleurets. — Tableaux de renseignements divers.

Des *considérations finales* nous extrairons d'abord le tableau comparatif suivant, relatif aux observations thermométriques, qui met bien en évidence les difficultés exceptionnelles rencontrées au Simplon. Les variations qu'y a accusées la hauteur géothermique sont en relation évidente avec la localisation des sources chaudes, qui apportaient au niveau du tunnel la chaleur empruntée aux couches inférieures.

DÉSIGNATION de la galerie	Longueur de la galerie — Mètres.	Hauteur maxima de la montagne au-dessus de la galerie — Mètres.	Température maxima de la roche — Degrés C.	Hauteur géothermique pour 1° C. — Mètres.
Fréjus.	12 233	1 610	29,5	51
Saint-Gothard . .	14 912	1 708	30,8	55,4
Arlberg	10 260	720	18,5	42
Simplon	19 730	1 797 (km. 8n,5)	54,0	34
Id.	»	2 145 (km. 9n,0)	52,5	40
Id.	»	1 700 (km. 9s,1)	47,0	40
Id.	»	2 015 (km. 8s,4)	41,0	50

La comparaison des diverses perforatrices, toutes étudiées avec soin et représentées en détail dans l'atlas, est d'un intérêt incontestable, mais un peu difficile à résumer vu qu'il faut tenir compte de trop de circonstances locales.

Les prix de revient par mètre courant ont moins varié qu'on ne le croirait volontiers. M. Biadego donne à ce sujet les nombres suivants en lires :

Fréjus	5 500
Saint-Gothard.	4 500
Arlberg	4 650
Simplon.	5 500

On doit remarquer que l'entreprise du Saint-Gothard fut désastreuse, en sorte que le coût réel fut supérieur au chiffre indiqué. D'autre part, celui qui est donné pour le Simplon est en partie estimatif, la deuxième galerie à une voie n'étant pas terminée, et il paraît probable qu'il devra subir une certaine majoration.

La main-d'œuvre fait l'objet d'une statistique mise sous une forme mathématique spéciale, destinée à faire ressortir séparément le nombre d'ouvriers employés à l'extérieur et à l'intérieur, ainsi que l'avancement journalier, le tout durant à peu près les trois dernières années ayant précédé la rencontre des galeries d'avancement.

Dans la formule :

$$n = a + bx,$$

n désigne le nombre quotidien total d'ouvriers pour une seule des deux embouchures, a celui des ouvriers extérieurs, x l'avancement quotidien moyen, et b le coefficient par lequel il faut multiplier x pour obtenir le nombre des ouvriers de l'intérieur. Cela posé, on a

TUNNEL	a	b	x	n
	—	—	— Mètres.	—
Fréjus	310	500	2,10	1 360
Saint-Gothard . . .	320	360	3,30	1 500
Arlberg.	320	310	4	1 550
Simplon	620	335	5,02	2 290

On notera la valeur élevée du coefficient b au mont Fréjus; elle paraît tenir, dans une certaine mesure, au moindre développement de la perforation mécanique, mais surtout à l'emploi de la poudre de mine, remplacée dans les autres galeries par la dynamite.

Au point de vue du système de travail, le tunnel du Saint-Gothard présente la particularité d'avoir eu sa galerie d'avancement percée en calotte, tandis qu'au Fréjus, à l'Arlberg et au Simplon la galerie d'avancement fut ouverte au niveau de la plateforme. L'ingénieur en chef du Saint-Gothard, M. Bridel, a formulé les critiques les plus vives contre l'ouverture en calotte. La Revue générale des Chemins de fer de juin 1881 a publié une lettre de lui des plus intéressantes et dont M. Biadego repro-

duit les passages les plus caractéristiques. Le vice fondamental du système résulte de ce que, avec la rapidité de progression de la galerie d'avancement due à la perforation mécanique, il est impossible de la faire suivre par les attaques du strosse. De plus, l'aération aurait été très imparfaite au Saint-Gothard : elle était produite exclusivement par le mélange de l'air pur des compresseurs avec l'atmosphère viciée du tunnel, et le renouvellement de l'air dans la partie achevée séparant les chantiers de la tête correspondante ne se faisait que grâce à des courants mal définis et était des plus imparfaits. En outre, la grande longueur des chantiers éparpillait la ventilation sur de trop grands espaces.

Au mont Fréjus, on avait divisé la section de la galerie en deux parties, dont la supérieure était mise en communication avec un puits à la bouche duquel fonctionnait un aspirateur; l'air pur était fourni par les perforatrices.

L'envoi d'air au moyen de machines soufflantes s'impose quand on emploie des perforatrices à eau sous pression; il peut d'ailleurs être amené ou dans un tube placé dans la galerie même, qu'il encombre, ou dans une cunette creusée parallèlement à la galerie : des cunettes transversales servent alors à assurer la communication avec les chantiers de travail. Le système du tube fut appliqué à l'Arlberg et celui des cunettes parallèles au Simplon. Un jeu de portes y permettait d'ailleurs de faire fonctionner les souffleurs comme aspirateurs. Un avantage de ce système est de pouvoir servir à la ventilation après la mise en exploitation, à condition de fermer par une porte la tête par laquelle se fait l'injection d'air.

L'ingénieur Saccardo a fait une étude très remarquable de cette question de la ventilation en cours d'exploitation. Dans les tunnels où l'on emploie la traction à vapeur, le plus grave inconvénient se présente pour les trains qui parcourent le tunnel dans le sens du courant d'air naturel, parce qu'alors les gaz de la combustion accompagnent le train. La situation devient surtout intenable dans le cas de double traction avec une machine en queue, car alors des tourbillons de fumée suffocante enveloppent la plateforme de cette machine, ainsi que la guérite du garde-frein de la dernière voiture. Pour faire disparaître de tels inconvénients qui peuvent devenir mortels, M. Saccardo s'est proposé de provoquer dans les tunnels un courant d'air opposé à la marche des trains et de vitesse à peu près égale à celle des trains eux-mêmes. A cet effet, il fait application d'un injecteur de forme annulaire qui s'applique à l'une des embouchures du tunnel au moyen d'une fausse porte.

Après des expériences de laboratoire, on en fit une en grand au tunnel de Pracchia, sur la ligne de Pistoie à Bologne, qui servit notamment à définir les conditions de respirabilité. Les résultats fournis par cette expérience, commencée en décembre 1894, furent si satisfaisants qu'on appliqua, en 1899, le système Saccardo à la ventilation du tunnel du Saint-Gothard ; puis application en fut faite aux tunnels de Busalla et du Ronco (1) dans le val de Giovi et à celui du Fréjus. Ce dernier tunnel présente, on le sait, deux déclivités contraires, et le courant d'air, généralement dirigé du nord au sud, se renverse parfois. C'est pour combattre les courants habituels qu'a été établi l'appareil de ventilation ; mais, quand ce courant est rapide et accompagne les trains, le ventilateur n'a pas une force suffisante pour améliorer sensiblement la situation, et mieux vaudrait sans doute accroître au contraire la vitesse de l'air.

Cette étude de la ventilation en cours d'exploitation est très développée et termine fort bien l'ouvrage de M. Biadego.

G. Lechalas.

IX

L'Aryen et l'Anthroposociologie. Étude critique par le Dr E. Houzé. Forme le fascicule 5 des *Notes et Mémoires* publiés par l'Institut de Sociologie. Un vol. in-8° de 117 pages. — Misch et Thron, Bruxelles, 1906.

Ce mémoire se divise en trois parties, qui portent respectivement pour titre : 1° l'Aryen, 2° l'Anthropologie, 3° l'Anthroposociologie.

Dans la première, l'auteur fait la critique très serrée de la théorie, qui a trop longtemps dominé, et qui veut qu'une race dite aryenne, issue d'une région encore indéterminée, pour les uns l'Asie, pour d'autres l'Europe, et en particulier la Scandinavie, ait importé les plantes cultivées, les animaux domestiques et l'industrie du bronze.

Contre toutes ces assertions, M. Houzé s'inscrit en faux. Si l'on peut admettre que la linguistique a démontré la parenté des langues parlées en Europe et dans quelques régions de l'Asie, Arménie, Perse et Inde, il faut décidément rayer de la science

(1) Pour ce tunnel, on procède par aspiration.

la race aryenne, et lui dénier carrément le rôle qu'on lui attribue dans l'histoire de la civilisation européenne.

Ce n'est pas d'aujourd'hui que les conclusions de M. Houzé se font jour dans le monde scientifique; mais elles lui seront redevables d'avoir été précisées plus nettement et surtout mieux établies. Ainsi, pour ce qui concerne la prétendue importation des céréales, M. Houzé démontre qu'avec les arbres fruitiers elles sont cultivées en Europe depuis la fin de l'époque quaternaire et descendent d'espèces indigènes. De même, les animaux domestiques n'ont pas été importés en bloc, ils ont été domestiqués successivement et tous les animaux domestiques européens de l'époque néolithique ont des ancêtres européens quaternaires.

La seconde partie du travail de M. Houzé vise directement certaines assertions de M. Vacher de Lapouge dans son livre sur les *Sélections sociales*, et surtout celle qui en fait le fondement : « il y a régression cérébrale sous l'influence de la civilisation », et qui reçoit encore cette autre traduction : « l'instruction est le complice du crime ».

Pour réfuter ce que M. Houzé n'hésite pas à appeler des « excentricités », il fait, au préalable, l'histoire — s'il est permis d'ainsi parler — de l'évolution histo-physiologique du système nerveux et celle de l'évolution cranio-cérébrale.

De cette étude menée avec beaucoup de clarté et basée sur l'appréciation exacte des faits, voici la conclusion dominante : « La mise au point de nos connaissances sur le crâne, le cerveau et l'intelligence, nous permet de conclure que toutes les études entreprises dans le but de rechercher par l'anthropométrie les signes physiques de l'intelligence sont des tentatives mort-nées ».

M. Houzé se tient sur le terrain limité de la physiologie et de l'anthropologie et il n'examine que le rôle des organes dans les actes d'intelligence. Cependant, il outrepasse la portée des données purement naturelles, lorsqu'il écrit : « C'est grâce aux centres nerveux supérieurs que l'évolution et la sélection naturelle ont fait sortir l'homme de l'animalité ».

On pourrait aussi le chicaner sur son opinion, très contestable, que « la Révolution française constitue un magnifique stade de l'histoire de l'humanité » et le renvoyer aux études de Taine sur ce sujet. Mais ce n'est pas ici le lieu d'insister.

La troisième partie du travail de M. Houzé, intitulée *L'Anthroposociologie*, a une grande importance : c'est l'examen critique et approfondi de cette nouvelle science — M. Houzé dit pseudo-science — à peine vieille de dix ans.

Les conclusions de M. Houzé ne vont, en effet, à rien moins qu'à montrer que l'anthroposociologie est « bâtie sur des erreurs fondamentales et des discussions puériles ».

On le voit, le réquisitoire est rudement mené et formulé sans nulles précautions oratoires. C'est à grands coups d'estoc que les théories de l'anthroposociologie subissent une démolition en règle.

C'est surtout M. de Lapouge qui sert à M. Houzé de point de mire. Aussi bien les erreurs ethnologiques et anthropologiques fourmillent dans ses deux ouvrages : l'*Aryen* et *Les Sélections sociales*, qui ne sont qu' « un recueil d'excentricités habilement présentées au lecteur incompétent ».

Il y a du reste d'autres idoles que M. Houzé secoue rudement en passant, tels le criminel-né de Lombroso ; le *Pithecanthropus Krapinensis*, qualifié d' « arlequin quaternaire » ; le *Pithecanthropus erectus*, de M. Dubois, ainsi que les fameuses lois d'Ammon, auxquelles et à toutes, il faut, dit M. Houzé, opposer la question préalable.

M. Houzé ne se contente pas de dénoncer les erreurs de l'anthroposociologie, il les démontre et fait voir comment chacune des assertions et des thèses de cette science est contredite par des données certaines et positives.

L'étude de M. Houzé aura, sans nul doute, un profond retentissement dans le monde scientifique. On se défiait bien un peu de la nouvelle école d'anthroposociologie ; jusqu'à présent, c'étaient surtout des historiens qui avaient élevé quelques protestations. M. Houzé, avec l'autorité de son nom, fait intervenir l'anthropologie dans le débat, et cette intervention sera décisive. Malgré les bruyantes affirmations de M. de Lapouge, qui a l'air de faire croire que l'anthroposociologie est en train de conquérir le monde, il est fort probable que M. Houzé lui a donné le coup de grâce.

J. G.

X

Der Nordpol als Völkerheimat, von Dr Georg Biedenkopp. Un vol. in-8° de VIII-195 pages. — Jena, Hermann Costenoble, 1906.

On aurait pu croire définitivement enterrée la thèse de l'origine polaire des peuples indo-européens. Le livre du Dr Georges Biedenkopp vient nous prouver le contraire, et voici de nouveaux

efforts pour démontrer que le pôle Nord abrite le berceau des nations dites aryennes.

Ces efforts ont-ils été heureux ? M. le Dr Biedenkopp est, pour le prouver, plein d'un confiant enthousiasme, qui va même jusqu'à se traduire en vers. A dire vrai, on eût préféré, en si grave sujet, de la simple prose.

Ce sont les travaux d'un savant Hindou du nom de Tilak qui ont engagé M. Biedenkopp à reprendre le sujet traité dans son livre. Très frappé du désintéressement scientifique d'un Oriental qui n'hésitait pas à retrouver dans l'extrême Nord le berceau de sa race, alors que — c'est l'auteur qui parle — tant de savants européens, Français et Allemands, se laissent égarer par des préoccupations de patriotisme local, M. Biedenkopp a été favorablement impressionné à l'égard de la thèse de Tilak.

Avant d'en présenter le résumé aux lecteurs, dans trois chapitres préliminaires, l'auteur expose ses vues personnelles sur la valeur des recherches préhistoriques, et rappelle les essais antérieurs tentés pour retrouver le berceau de l'humanité et celui des Indo-Germains. On sera assez surpris des réflexions du Dr Biedenkopp sur l'importance des travaux de la préhistoire; il insiste beaucoup sur la source d'inspiration que cette matière peut fournir au poète et il administre la preuve de cette assertion par de nombreux extraits de l'*Aström*, de Wilhelm Jordan.

Pour la question du berceau de l'humanité, le Dr Biedenkopp s'en réfère presque exclusivement au récent essai du Dr Ludwig Wilsen, *Die Urheimat des Menschengeschlechtes* (1). M. Wilsen a essayé de démontrer que c'est au pôle Nord qu'il faut placer le point de départ de l'histoire de l'homme. A signaler sa réfutation des théories de M. Dubois et de sa trouvaille à Java de l'*Anthropopithecus erectus*. Retenons-en que M. Wilsen considère les restes fossiles de Trinil comme plus jeunes que plusieurs de ceux qui ont été retrouvés en Europe. Toutefois, nous ne lui accorderons pas que les crânes ou autres ossements humains exhumés se soient révélés comme ceux d'hommes-singes.

Le résumé que M. Biedenkopp donne ensuite des recherches des savants européens sur le berceau des Aryas n'apprend rien de neuf, et il ne faut même pas y chercher un aperçu exact de l'état de la question. Car, si quelques ethnologues ont revendiqué les contrées septentrionales de l'Europe comme lieu d'origine des Indo-Germains, il n'est pas conforme à la réalité des faits

(1) Heidelberg, 1905, Carl Winters Universitätsbuchhandlung.

d'enseigner que les travaux des philologues sont en majorité favorables à la thèse qui cherche au Nord le berceau des Aryas. Dans le rapide tableau que l'auteur dresse de la religion indo-européenne relevons cette énormité, affirmée avec une sereine inconscience : « Le christianisme ne doit être considéré que comme une incroyable déchéance d'une haute élévation de pensées »! Faut-il ajouter que de cette inconcevable assertion il n'y a pas même un essai de preuve?

Mais nous voici arrivés, avec M. Biedenkopp, aux études de M. Bâl Gangâdhar Tilak qui, en 1893, publia un ouvrage intitulé *Orion or Researches to the Antiquity of the Vedas,* et plus récemment un autre *The arctic home in the Vedas* (Poona and Bombay, 1903). Dans ce mémoire, M. Tilak arrive à la conclusion suivante : Les traditions dont le Rig Veda garde le souvenir, se rapportent à une période de 4000 ans avant Jésus-Christ, lorsque l'équinoxe de printemps était en Orion, ou en d'autres termes, lorsque la constellation du Chien ouvrait l'année équinoxiale. Or, ces données astronomiques ne pouvaient avoir été constatées que par un habitant du pôle Nord. Il en résulte que les ancêtres des Hindous doivent être cherchés dans cette région.

M. le Dr Biedenkopp corrobore cette thèse par l'interprétation d'un certain nombre d'hymnes védiques. Il y trouve l'égalité des rayons solaires, les nuits des dieux, les aurores boréales, des longueurs de nuits et d'hivers, des divisions des mois et des saisons égales à celles des contrées polaires.

Il y a plus. C'est dans un sens analogue qu'il faut interpréter la légende du *gavâm ayanam* et les mythes des eaux captives, des Açvins et d'Indra qui déroba les rayons du ciel.

A en croire l'auteur, l'Avesta, le livre sacré des Perses, comporte de pareilles déductions.

Enfin, d'autres mythologies, celles des Celtes, des Lettes, des Slaves septentrionaux prêtent à ces théories un appui que M. Biedenkopp juge des plus formels.

Malheureusement, il ne nous est pas possible de partager cette confiance. Tous les faits recueillis par l'auteur sont susceptibles d'une autre interprétation et n'entraînent nullement l'inéluctable conclusion que c'est dans les régions polaires qu'il faut trouver le berceau de l'humanité.

Malgré le palpitant intérêt que soulève cette question, nous n'aurions pas osé la proposer au récent Congrès pour l'étude des régions polaires.

J. G.

XI

Album of Philippine types. Christians and Moros. Eighty plates, representing thirty-seven provinces and islands, prepared and published under the auspices of the Philippine Exposition Board, by Daniel Folkmar, D. U. Paris. — Manila, Bureau of public printing, 1904.

Cet album de quatre-vingts photographies donne une fort bonne idée des principaux types ethniques des îles Philippines. Les ethnographes savent l'importance de cette région pour l'étude des diverses races asiatiques. Il faut donc savoir gré à M. Folkmar d'avoir mis à la disposition de ceux que la question intéresse, des documents aussi nombreux que maniables.

Les types représentés appartiennent à douze peuples différents. Ils sont rangés par ordre alphabétique des noms de ces peuples. En regard des reproductions photographiques, qui sont prises de profil et de face, une légende très détaillée fournit tous les renseignements anthropologiques nécessaires, taille, indice céphalique, indice nasal. On peut regretter de ne pas voir mentionnée la couleur des cheveux et des yeux, ni celle du teint, que la photographie ne révèle pas suffisamment.

Autre observation. Les photographies ont été prises sur des individus détenus au pénitentiaire de Bilibid. Bien que cette prison renferme trois mille condamnés, il y a certaines provinces qui, au moment de la confection de l'album, n'étaient pas suffisamment représentées. Il est évident que les uniques types d'Igorroto et de Manobo et que les trois figures de Negritos du nord et deux du sud sont absolument insuffisants. M. Folkmar nous met lui-même en garde contre les conclusions trop générales que l'on pourrait être porté à tirer de documents en nombre trop restreint.

Avec cette réserve, essayons de résumer quelques-unes des observations ethnologiques auxquelles peut donner lieu l'album publié par M. Folkmar.

Les Bicols sont considérés comme les représentants de tous les peuples chrétiens des Philippines. L'album en donne sept types. Cette tribu est d'origine malaise, et ses membres comme tels se distinguent par la brachycéphalie. Il y a pourtant certains indices de croisement avec les Mogols.

Quatre portraits de Cagayans prouvent qu'il y a lieu de faire

une distinction entre les « Indios » ou Philippins chrétiens et d'y reconnaître un type méridional représenté par les Bicols et un type septentrional chez les Cagayans. En particulier, ceux-ci sont bruns et d'un brun plutôt rouge.

Physiquement parlant, les Ilocanos, dont on donne onze photographies, ne sont pas un peuple homogène. Ceux du sud sont dolichocéphales, tandis que ceux du nord sont brachycéphales comme les Bicols. La raison de ces divergences semble être que les Ilocanos du nord plus rapprochés des côtes ont préservé les populations du sud et essuyé seuls le contact avec la dernière vague de l'immigration malaise.

Les fameux Moros, ou Mahométans des îles méridionales (neuf photographies), ont le même type physique que les chrétiens ou Indios. Cependant, il faut distinguer deux types, l'un plus pur, qui se trouve à Jolo et dans les autres petites îles, l'autre qui offre des analogies avec les Indonésiens de l'intérieur de Mindanao, avec lesquels ils se sont probablement mélangés.

De six photographies de Pampangas et de Pangasinans on peut conclure à une parenté avec les Chinois. Ce fait est confirmé par d'anciennes légendes. Il faut en dire autant des Tagalogs, dont on présente douze reproductions.

Les Visayas (vingt planches) sont le peuple le plus important des Philippines méridionales. En général, ils accusent une origine indonésienne, bien que certaine partie du peuple se soit croisée avec les Negritos.

Il y a deux photographies de Zambals ; ce sont, par tous leurs caractères essentiels, des Néo-Malais.

Nous avons déjà dit que les types uniques d'Igorroto et de Manobo n'autorisent guère de conclusions. Toutefois on peut les rattacher au groupe indonésien.

On sait que la province de Bataan est habitée par des Negritos. M. Folkmar en reproduit cinq types. L'un d'eux est certainement un Indien ; chez les autres, le teint noir est atténué.

Par ces indications sommaires, nous croyons avoir montré que l'album de M. Folkmar peut donner une juste idée de l'ethnographie des Philippines. Dommage que les reproductions soient faites sur papier couché, ce qui leur vaudra une existence relativement éphémère.

J. G.

XII

Société belge de Sociologie. ENQUÊTE ETHNOGRAPHIQUE ET SOCIOLOGIQUE SUR LES PEUPLES DE CIVILISATION INFÉRIEURE. Un vol. in-8° de 58 pages. — Bruxelles, 1905.

La partie principale de ce travail est le questionnaire ethnographique et sociologique rédigé par M. Joseph Halkin, chargé du cours de géographie ethnographique à l'Université de Liége.

Toutefois pour montrer l'utilité, voire même la nécessité de ce travail, on l'a fait précéder de deux notes, l'une de M. A. Camerlynck sur l'opportunité d'une enquête ethnographique et sociologique sur les peuples incultes, l'autre de M. Th. Gollier sur les *Naturvölker*.

M. Camerlynck insiste surtout sur les conditions que doit réaliser l'enquête ethnographique et sociologique, et plus spécialement sur les graves défauts de méthode qui trop souvent ont entaché les antérieures entreprises de ce genre. Ces défauts sont surtout l'importance trop secondaire attachée à l'observation des faits de la vie sociale, l'abus de l'hypothèse ou de la conjecture, la construction de théories prématurées et fantaisistes.

Pour mener à bien une investigation sérieuse et de nature à produire des résultats qui inspireront confiance, M. Camerlynck préconise de la mettre aux mains des missionnaires. Par le séjour prolongé au milieu des peuplades qu'ils évangélisent, grâce à la confiance qu'ils réussissent à capter et surtout à cause de la connaissance plus approfondie qu'ils acquièrent des langues indigènes, ils sont mieux qualifiés que tous autres pour conduire une enquête ethnographique et sociologique.

Celle-ci devant porter uniquement sur les peuples incultes, il importe de s'entendre sur la nature de ces peuples. M. Gollier, dans une très courte note, s'est chargé de cette tâche. Voici pour lui la caractéristique des *Naturvölker*. Ce sont les peuples qui ne possèdent encore aucun moyen de transmission d'une génération à l'autre des découvertes effectuées, des inventions réalisées.

Venons-en maintenant au questionnaire de M. J. Halkin. Ce questionnaire a pour but d'attirer l'attention de tous ceux qui veulent contribuer à l'enquête ethnographique sur un certain nombre de faits. Il est en effet désirable que ce travail d'enquête soit établi d'après un programme commun.

M. J. Halkin a dressé une liste de plus de deux cents questions groupées sous les rubriques suivantes : 1. Renseignements géographiques et ethnographiques généraux; 2. Vie matérielle; 3. Vie familiale; 4. Vie religieuse; 5. Vie intellectuelle; 6. Vie sociale; 7. Caractères anthropologiques. On le voit, l'énumération est longue et, croyons-nous, complète.

Dans les instructions qui précèdent le questionnaire, M. J. Halkin indique en quel sens doivent être formulées les réponses et insiste beaucoup sur les services que peuvent rendre les photographies d'individus, de scènes de la vie journalière, de cérémonies religieuses, ou d'habitations. Ces photographies seront le meilleur commentaire des réponses écrites.

Les questions que M. Halkin pose sous le n° 7 et qui sont relatives aux caractères somatiques et physiologiques auraient, nous semble-t-il, pu être laissées de côté. Elles empiètent sur un autre domaine, celui de l'anthropologie et au point de vue strict de l'enquête sociologique et ethnographique projetée, ces caractères sont d'importance moindre.

J. G.

XIII

Instituts Solvay. Travaux de l'Institut de sociologie. Notes et Mémoires. Fascicule 4. Sur quelques erreurs de méthode dans l'étude de l'Homme primitif. Notes critiques, par L. Wodon. Un vol. gr. in-8° de 37 pages. — Misch et Thron, éditeurs, Bruxelles, 1906.

Un livre relativement récent a eu quelque succès. C'est celui du Dr Karl Bücher, *Die Entstehung der Volkwirtschaft,* traduit par A. Hansay sous le titre d'*Études d'histoire et d'économie politique.*

Dans cet ouvrage, le Dr Bücher s'efforce de caractériser l'état économique de l'humanité primitive. Le voici résumé en quelques traits : « L'homme primitif ne travaille pas. Son existence se passe à la recherche individuelle de la nourriture dans des pays où l'abondance des produits naturels permet de vivre avec un très minime déploiement d'énergie ».

Pour justifier sa thèse, le savant professeur de Leipzig accumule un grand nombre de faits.

M. Wodon a eu la patience d'examiner en détail l'œuvre du Dr Bücher; c'est le résultat de cet examen qu'il donne dans le

travail que nous analysons en ce moment. Ce résultat n'est guère favorable à la théorie du Dr Bücher, car M. Wodon s'inscrit en faux contre bon nombre d'assertions du savant allemand.

Ainsi, à l'encontre de l'affirmation que chez les peuples les moins avancés que nous connaissons, il y a à peine trace des groupes sociaux organisés, M. Wodon oppose le fait de l'organisation souvent très compliquée des Australiens, qui cependant, de l'aveu d'ailleurs du Dr Bücher, appartiennent à la catégorie la moins avancée des primitifs. On peut faire de semblables observations à propos des Botocudos, des Bororos et des Veddahs. Pour tous ces peuples et d'autres encore, le Dr Bücher commet cette grave erreur « d'isoler, dans chaque groupe, quelques qualités, d'ailleurs différentes de l'un à l'autre, et de s'imaginer qu'en reconstituant ensuite à l'aide de ces qualités, groupées synthétiquement, un type artificiel, on a le droit de considérer ce type comme répondant à la réalité préhistorique ».

Autre critique. Pour M. Bücher, il y a un indice de la nature peu sociable de l'homme primitif, d'où son isolement économique, dans l'égoïsme extraordinaire qui le caractérise et qui se manifeste par la dureté envers les proches, meurtre des enfants et des vieillards. M. Wodon montre, par le témoignage d'ethnographes consciencieux, qu'il y a beaucoup à rabattre de la généralité de ces affirmations. De plus, là où se manifestent les actes de cruauté signalés par M. Bücher, il y aurait au préalable à démontrer que pareils usages sont bien une survivance du stade de non-culture et non pas plutôt un produit de la civilisation.

M. Bücher attache une grande importance à la séparation économique des sexes. D'après lui, dans la répartition des travaux entre les sexes, telle que la règle la coutume, il ne semble pas que la considération des différences d'aptitudes naturelles ait été la préoccupation dominante. « On cherche vainement, dit à ce propos M. Wodon, en quoi la division des tâches entre les sexes, l'existence des règles strictes concernant la consommation et les autres usages analogues seraient l'indice d'un stade de non-économie. »

C'est très juste, d'autant plus que les faits ne donnent pas toujours raison à M. Bücher. Ainsi, chez les Indiens du Schinga (Brésil), contrairement à ce que soutient M. Bücher, la répartition des travaux entre les sexes est originairement en corrélation avec leurs aptitudes naturelles.

M. Wodon examine ensuite la théorie du Dr Bücher relative aux origines du travail. Comment l'homme essentiellement

paresseux, insouciant et imprévoyant, a-t-il pu être amené à la production, à l'effort utile? M. Bücher avoue que l'apparition du travail est un phénomène nébuleux, mais on peut cependant constater le fait que chez les primitifs le premier travail, le premier effort de l'homme est un jeu ou un art.

On sait peu de chose sur les débuts de l'art. Néanmoins les faits nombreux mis en lumière par MM. Grosse (*Les Débuts de l'Art*, Paris, 1902, traduction d'E. Dier) et Haddon (*Evolution in Art*, London, 1895), tendent à prouver que, loin que l'art eût précédé la production utile, c'est exactement le contraire qui a eu lieu. Et un exemple donné par le Dr Bücher lui-même renferme, sans qu'il s'en doute, l'éclatante réfutation de son système. Pour prouver que c'est en jouant que l'homme constitue la technique et que celle-ci n'est appliquée qu'insensiblement à la production de l'utile, il cite le fait que chez les Papous, on ne trouve guère d'ustensiles ou d'armes qui ne portent un embellissement quelconque. Mais, tout de même, avant de penser à décorer, à orner les ustensiles, n'a-t-il pas fallu les inventer et les confectionner?

L'analyse pénétrante de M. Wodon, qui fait preuve en outre d'une information ethnographique très étendue, entame gravement l'œuvre du Dr Bücher. Il était d'autant plus opportun de formuler ces réserves que le livre du Dr Bücher a eu beaucoup de retentissement. Nous pensons, avec M. Wodon, que cette réputation est légèrement usurpée et que plusieurs des conclusions du savant professeur de Leipzig ne peuvent être acceptées que sous bénéfice d'inventaire.

J. G.

XIV

La Sériciculture aux Colonies. Étude faite à Madagascar par Ém. Prudhomme. — Paris, Challamel, 1906.

La sériciculture préoccupe actuellement un grand nombre de chercheurs; il faut, en effet, pour satisfaire la demande toujours croissante de soies, chercher de nouveaux centres de production. On s'est tourné avec raison vers les colonies. Dans certaines d'entre elles l'élevage du ver à soie de Chine peut se faire, dans d'autres il devient très difficile, mais il est probable que l'on pourra trouver dans ces régions des vers indigènes dont la soie, sinon identique à celle du ver de Chine, sera encore de valeur. Dans le livre que nous signalons, l'auteur, bien connu par ses travaux à Madagascar,

fait ressortir les résultats très intéressants qui ont été obtenus à l'École de sériciculture de Nanisana, créée en vue de développer toutes les branches de la sériciculture. Outre l'élevage du ver de Chine, on y a réalisé des essais, pleins de promesses, avec des vers indigènes qui fournissent les soies connues sous les noms de « soie Landibe », « soie Betsileo », « soie Malgache ».

L'ouvrage est divisé en trois parties. La première décrit en détail l'organisation et le fonctionnement du service de sériciculture; il a un intérêt général, car, malgré des améliorations possibles et souhaitables, cette organisation peut servir de modèle aux gouvernements coloniaux dont la plupart auraient intérêt à créer un service similaire. La deuxième partie contient deux chapitres; dans le premier l'auteur étudie les plantes qui peuvent servir à la nourriture du ver de Chine, et les maladies qui s'attaquent, dans la région, aux diverses espèces de mûrier. Le second chapitre s'occupe des plantes nourricières des insectes séricigènes indigènes et en particulier des *Cajanus indicus, Dodonaea madagascariensis* et un *Chrysopia*. La troisième partie de l'ouvrage est consacrée aux insectes eux-mêmes; en premier lieu au *Sericaria Mori*, ver de Chine, puis aux Landibés de Madagascar, parmi lesquels le *Borocera madagascariensis* est le mieux connu.

A ces trois parties sont jointes des annexes dans lesquelles nous trouvons des documents sur la valeur des cocons produits, sur la création d'une magnanerie modèle, sur la soie d'une araignée, et quelques données accessoires qui font du volume une étude très complète et d'un grand intérêt. C'est d'ailleurs le seul ouvrage de langue française qui traite cette question importante au point de vue colonial africain, et il y a là des indications très utiles pour ceux qui voudraient entreprendre au Congo cette industrie rémunératrice. Des essais ont été tentés il y a quelques années dans l'État Indépendant; ils n'ont pas donné les résultats que l'on en espérait; cet échec est dû en grande partie, croyons-nous, au manque d'un guide sûr; il ne se reproduirait peut-être plus, si l'on mettait à profit les recherches effectuées à Madagascar.

É. D. W.

XV

Houtsoorten van Nederlandsch Oost-Indië, door F.-W. Van Eeden. Derde veel vermeerderde uitgave door J.-J. Duyfjes.

Dans ce catalogue descriptif, publié par l'important Musée colonial de Haarlem, on trouvera, sur la plupart des bois utilisables des forêts des Indes, des renseignements détaillés. Il s'ouvre par une courte étude des propriétés des bois et se développe dans l'ordre systématique des familles et des genres. Ceux qui s'intéressent spécialement aux bois des Indes, ne seront pas seuls à le consulter utilement; il rendra des services équivalents à tous les forestiers et même à ceux qui désirent exploiter les bois commercialement. En effet, plusieurs essences signalées dans le catalogue ne sont pas exclusivement localisées à Java, mais existent dans la plupart des régions tropicales; un certain nombre, entre autres, sont communes à Java et au Congo. Tels sont, par exemple, le *Melia Azedarach*, appelé parfois Lilas des Falls au Congo, où il est très communément cultivé comme arbre d'ombrage. Il ne convient cependant pas à cet usage, mais il mériterait d'être cultivé pour son bois, car il est de croissance rapide et facile. Ce bois prend un très beau poli et on l'estime excellent pour la menuiserie et l'ébénisterie. Citons aussi l'*Acacia Lebbek*, très cultivé actuellement au Congo comme arbre d'ombrage, et qui a de la valeur au point de vue de l'exploitation. Son bois est d'un brun foncé dans le cœur, très dur et bien flammé. Il se laisse travailler et résiste bien aux intempéries; il pourrait être employé à la construction de meubles, de roues de chariots et même dans la marine La culture de cette essence mérite donc d'être poussée dans les régions tropicales. Dans ces dernières années déjà, le bois de cette essence a été expédié, en des quantités considérables, des îles Andaman sur le marché de Londres où il a été apprécié.

Les *Artoc carpus*, très souvent cultivés, fournissent également du bois utilisable.

Les auteurs du catalogue fournissent aussi des renseignements sur les espèces dont le bois est sans valeur, ce qui a son importance. Une table très détaillée des noms spécifiques latins et indigènes rend les recherches très faciles.

La dernière partie du catalogue est consacrée aux renseignements réunis sur les essences forestières non encore déterminées scientifiquement, et dont les échantillons existent au Musée colo-

nial de Haarlem. Ces essences sont encore fort nombreuses; il reste donc beaucoup à faire dans cette direction. Souhaitons que M. J.-J. Duyfjes, qui appartient au service forestier des Indes Néerlandaises, complète bientôt ces données qui peuvent avoir une très grande importance pour le commerce colonial.

É. D. W.

XVI

Le Coton. Culture, Préparation, Commerce, par A. Lalière. Un vol. in-8° de 250 pages, XXIV planches hors texte et une carte cotonnière. — Anvers, Forst, et Paris, Challamel, 1906.

La question cotonnière devient de jour en jour plus importante, et du même coup, les connaissances nécessaires à qui veut s'orienter dans cette question complexe sont de plus en plus difficiles à acquérir : la littérature relative à la culture, à la préparation et au commerce du coton augmente, en effet, dans toutes les langues, et dans une proportion effrayante. A diverses reprises nous avons, dans cette Revue, insisté sur le cotonnier à propos d'ouvrages spéciaux ou généraux parus en Allemagne et en France; nous sommes heureux de pouvoir signaler aujourd'hui cet ouvrage écrit par un de nos compatriotes, M. A. Lalière, professeur à l'Institut de commerce d'Anvers. Ce n'est pas un volumineux traité, mais un résumé substantiel des divers aspects de la question, qui rendra aux professeurs et aux élèves de nos Écoles spéciales, aux planteurs et aux futurs colons, aux industriels même d'excellents services. Il s'adresse, en effet, à ces diverses classes de lecteurs; de là sa division en plusieurs parties, les unes d'un intérêt direct pour les cultivateurs, d'autres pour l'industriel. La première partie est consacrée à des considérations générales sur l'importance de l'industrie cotonnière et sur la quantité de fibres brutes jetées sur les divers marchés du monde. La deuxième partie, qui intéresse tout spécialement le planteur, établit l'origine botanique du coton, indique les principales espèces et variétés de culture, les conditions du climat et du sol qu'elles réclament. L'auteur passe ensuite rapidement en revue la préparation du sol en vue du semis du cotonnier, les soins d'entretien, le travail de la récolte, et consacre deux paragraphes à la question très importante des dégâts causés, dans la culture, par les insectes et

les champignons. La troisième partie intéresse à la fois le planteur et l'industriel, l'auteur y fait ressortir l'importance de la bonne préparation des fibres ; il décrit les diverses méthodes d'égrenage, en attirant l'attention, avec figures à l'appui, sur les machines utilisées dans cette phase de l'industrie cotonnière. Dans la même partie l'auteur étudie aussi le pressage et l'emballage et donne, dans un tableau, le poids et la forme des balles de coton du commerce. La quatrième partie, qui aurait peut-être été mieux placée à la fin du volume, traite des propriétés et des usages du cotonnier : fibres, huile, tourteau et sous-produits ; elle intéresse tout le monde. La cinquième partie envisage la culture du coton dans les trois grandes régions productrices : les États-Unis de l'Amérique du Nord, l'Égypte et les Indes Anglaises. La sixième partie présente un aperçu des résultats obtenus dans les centres de culture de création récente ; les essais tentés dans l'État Indépendant du Congo donnent lieu naturellement à un paragraphe assez étendu. Une carte montre la distribution des cultures bien établies et des essais. Les nombreuses figures hors texte sont intéressantes, mais ne se rattachent souvent qu'indirectement au sujet.

Le travail de M. Lalière constitue une œuvre de vulgarisation très méritoire, la seule peut-être qui ait été écrite en français depuis 1900, époque à laquelle M. H. Lecomte a publié un travail d'ensemble étendu sur le même sujet. La question cotonnière se présente aujourd'hui sous des aspects nouveaux, que l'auteur a su mettre en relief et qui donnent à son livre un cachet d'actualité et d'intérêt général (1).

É. D. W.

XVII

Culture pratique et rationnelle du caféier et préparation du grain pour la vente, par Ed. Pierrot. — Paris, Challamel, 1905 (1906).

Cette brochure d'une centaine de pages n'est point un traité sur le café, mais une série d'indications pratiques sur la culture de cette plante. Dans le premier chapitre, intitulé *Généralités*, nous trouvons de brefs aperçus sur l'historique, sur les pays

(1) Postérieurement à l'apparition du livre de M. Lalière, ont paru à Paris sur le même sujet (Éditeur Chalamel) des ouvrages sur lesquels nous reviendrons (É. D. W.).

producteurs et consommateurs. Dans le deuxième, l'auteur décrit sommairement les espèces, en insistant sur deux d'entre elles : le caféier d'Arabie et le caféier Liberia ; il signale également les hybrides. Il passe en revue la fécondation, la maturation, la germination et le greffage. Puis il envisage la création d'une caféerie, décrivant en détail toutes les phases de la préparation du terrain. Vient ensuite l'énumération des conditions dans lesquelles il faut se placer pour installer une pépinière. Il traite alors de l'entretien d'une caféerie, dont il envisage le rendement par plant et par hectare. Enfin, le dernier chapitre est consacré à la préparation du grain ; les phases sont décrites avec soin. Des figures aident à l'intelligence du texte de ce petit livre, qui rendra certainement de bons services aux planteurs.

É. D. W.

XVIII

Nos Arbres, par Henry Correvon. — Genève, Atar, S. A. 1906.

L'auteur de cet intéressant volume est bien connu de ceux que préoccupe la protection des arbres et des forêts ; c'est leur cause qu'il va plaider. M. P. Robert l'y aide, dans la préface, où il fait ressortir la barbarie de ceux qui détruisent les arbres, chefs-d'œuvre naturels, dès qu'ils ne peuvent plus rapporter. Que devons-nous penser, dit-il, d'une génération comme la nôtre qui, fière de son savoir, de son intelligence, de ses richesses, en pleine conscience de la valeur archéologique, artistique ou pittoresque d'une œuvre d'art ou d'un coin de nature, ruine comme à plaisir de précieux édifices ou des sites admirables?

M. H. Correvon a divisé son livre en deux parties dont nous indiquerons sommairement le contenu. Dans la première, il étudie les arbres historiques, les forêts et les reboisements, spécialement au point de vue suisse. Il y a là bien des pages à lire sur l'importance du reboisement. Un pays sans arbres est non seulement un désert, dit M. Correvon, mais bientôt un enfer. Il en cite comme preuve l'Orient, berceau de notre civilisation, que les cèdres du Liban et les forêts de l'Herma protégeaient contre l'aridité et la mort et qui, déboisé, est devenu inhabitable et meurtrier. Plus près de nous, il montre les pentes arides du Valais, où des villages, jadis prospères, sont ensevelis dans les décombres des montagnes dénudées.

Dans la deuxième partie, plus spéciale, l'auteur passe en revue les essences indigènes ou exotiques qui conviennent le mieux soit au boisement, soit à l'aménagement des parcs et des avenues. Cet exposé est illustré de jolis clichés pris, en général, dans le beau pays suisse dont les forestiers font de louables efforts pour conserver les arbres curieux, si nombreux dans ces régions.

La Belgique possède aussi quelques arbres remarquables et trop peu connus. Il serait à souhaiter que la lecture du livre de M. Correvon fît naître chez nous l'idée de les faire connaître et le désir de les conserver.

Laissons croître et vieillir autour de nous, sans toujours en calculer le profit pécuniaire, les beaux arbres dont le Créateur a orné nos bois et nos campagnes; leur grand âge les a rendus vénérables : n'y touchons pas. « Plantons mais surtout conservons. »

É. D. W.

XIX

L'Art des Vers, par Auguste Dorchain. Un vol. in-18 de 422 pages. — Paris, Bibliothèque des Annales politiques et littéraires.

L'Art des Vers touche de trop près à plus d'une science pour qu'on s'étonne de le voir étudier dans une revue scientifique. Or, le volume de M. Auguste Dorchain, le poète aimé de la *Jeunesse pensive*, mérite entre tous qu'on s'arrête devant lui si, comme l'a proclamé M. Faguet (1), on y trouve une véritable découverte, résumée dans cette proposition : en vers, *la succession immédiate de deux syllabes accentuées est interdite*. Certes, ce n'est pas là tout ce qu'il y aurait d'intéressant à relever dans cet ouvrage; mais la nécessité de ne pas nous étendre démesurément nous fera nous limiter à ce point et à la question très voisine de l'hiatus.

Quand Boileau veut se moquer du style rocailleux de Chapelain, instinctivement il heurte deux syllabes accentuées l'une contre l'autre :

De mon flamboy*ant cœur* l'âpre état vous savez,...
Maudit soit l'au*teur dur* dont l'âpre et rude verve...

et cela répond bien au vers de *la Pucelle :*

De ce sourcil*leux roc* l'inébranlable cime.

(1) Le Correspondant du 25 juillet 1906.

Corneille avait écrit :

> Je suis Romaine, hélas! puisque mon é*poux l'est*,

mais il se corrigea et substitua :

> Je suis Romaine, hélas! puisqu'Horace est Romain.

M. Dorchain dit que Victor Hugo eût sans doute corrigé de même les vers suivants de son poème posthume, *Dieu :*

> Dont un bout est *nuit froide* et l'autre bout clarté...
> Au sommet resplendit l'Olympe, ca*verne astre*.

Comme le fait justement remarquer M. Faguet, le premier de ces vers pourrait bien être admirable, mais précisément parce que cette rencontre de deux syllabes dures et raides comme des lames de glace gèle les os comme il convient.

Naturellement, si la première des syllabes peut se lier avec la suivante en perdant son accent, si elle devient proclitique, la règle ne trouve pas d'application :

> Ne verrez-vous *point Phè*dre avant que de partir?

Ainsi en est-il encore si un repos de ponctuation sépare les deux syllabes :

> Soit! Que te faut-*il*? — *Prends*, dit l'être avec dédain...
> *(Légende des siècles)*

ou si l'accentuation exige cette séparation :

> Je n'épargne*rai rien* dans ma juste colère.
> *(Andromaque)*
> Le sang de vos *rois crie* et n'est point écouté.
> *(Athalie)*

La règle posée par M. Dorchain étant admise, la question de l'hiatus serait résolue par là même si, comme le veut Becq de Fouquières, l'hiatus supposait forcément la rencontre de deux voyelles fortes (1) : son interdiction ne serait, nous le verrons, qu'un cas particulier de la règle générale. Mais nous allons voir que la formule de Becq de Fouquières est trop restrictive.

La prosodie classique définit ainsi l'hiatus : « Il y a un hiatus quand un mot finissant par une voyelle autre que l'*e* muet se trouve placé devant un mot commençant lui-même par une voyelle ou dont la première voyelle est précédée d'une *h* muette ». La même prosodie interdit l'usage de l'hiatus ainsi défini, bien que les plus grands classiques ne se le soient pas interdit d'une façon absolue.

La première surprise qu'on éprouve en présence de cette formule est la limitation de l'interdiction de la rencontre de deux

(1) *Traité élémentaire de prosodie française*, p. 96.

voyelles au cas où elles appartiennent à deux mots différents : pourquoi ne pas proscrire cette rencontre au sein d'un même mot ? Serait-ce seulement par crainte d'exclure trop de mots de la langue poétique? Ajoutons d'ailleurs que l'interdiction ne s'applique pas non plus dans les mots composés, comme « Pré-aux-Clercs », non plus que dans les locutions toutes faites : « tant y a », « sang et eau », « à tort et à travers »....

D'autre part, la métrique traditionnelle permet l'hiatus entre deux vers, même quand le sens est continu :

Ni serment ni devoir ne l'avait engagé
A courir dans l'abîme où Porus s'est plongé.
(RACINE, *Alexandre*)

Les interjections, répétées ou non, ne formeraient point hiatus, si l'on en croit la pratique des poètes, et un *e* muet élidé permet d'esquiver l'anathème :

La plaintive Élég*ie en* longs habits de deuil.
(Art poétique)

Il en est de même de l'*h* aspirée.

Toutes ces exceptions, nous le verrons, sont pleinement justifiées; mais que dire de l'admission d'hiatus véritables pour la seule raison que l'œil ne les perçoit pas? Ainsi l'on s'est dit qu'on peut se contenter de séparer deux voyelles par une consonne non prononcée; cela paraît insensé, et cependant les exemples abondent :

J'ai fait parler le *loup et* répondre l'agneau...
(LA FONTAINE)
Si quelque libre *écrit en*tre leurs mains s'égare...
(VICTOR HUGO)

Pour mieux marquer cette belle théorie, on ajoute au besoin une consonne étrangère à l'orthographe ordinaire : ainsi Lamartine et Hugo écrivent *nud* avec un *d*. C'est simplement puéril.

Mais il y a mieux : la peur de l'hiatus fait tomber dans la cacophonie La Fontaine lui-même :

Des lieux où *l'on la* porte, hôtesse passagère...
Une vache était là : *l'on l'ap*pelle, elle vient.

Quant aux nasales, on n'en craint point le heurt avec une voyelle ou bien entre elles :

Pourquoi d'un *an en*tier l'avons-nous différée ?
(RACINE)
Les chanoines à table
Immolent trente mets à leur *faim in*domptable (1).
(BOILEAU)

(1) Ici l'effet est peut-être voulu.

A côté de ces cacophonies, plaçons quatre vers tout hérissés d'hiatus :

> Vous qui m'avez vê*tu au* temps de la froidure,
> Vous *qui a*vez pour moi souffert peine *et in*jure,
> *Qui, à* ma sèche soif *et à* mon âpre faim,
> Donnâtes de bon cœur votre *eau et* votre pain...
>
> (AGRIPPA D'AUBIGNÉ)

Même si l'on retranche les deux *et* suivis d'une voyelle, on trouve encore un hiatus à chaque vers, et cependant l'harmonie est bien plus satisfaisante que dans les *irréprochables* vers précédemment cités : n'est-ce pas la condamnation d'une doctrine ?

Oui assurément, et l'on ne peut donner tort à Théodore de Banville quand il condamne la règle dont il attribue toute la responsabilité à Boileau ; mais il ne semble pas faire les distinctions nécessaires, car il fait table rase de toute règle, de tout principe, s'en remettant à l'oreille du poète. C'est là sans doute l'essentiel, mais il n'est pas défendu d'étudier les lois qui dominent la sensibilité des oreilles bien faites, sans quoi on ne devrait jamais établir aucune théorie.

Or, il se trouve que ce Boileau si conspué a formulé la proscription de l'hiatus en deux vers qui, bien compris, conduisent à en donner une théorie rationnelle :

> Gardez qu'une voyelle, à courir trop hâtée,
> Ne soit d'une voyelle en son chemin heurtée.

Que condamne ici Boileau ? Le *choc* de deux voyelles. Voyons donc quand il y a choc, car il n'est pas évident que toute juxtaposition entraîne un choc. Or, pour qui a étudié l'accentuation dans la langue française, un trait de lumière apparaît : dans les mots de plusieurs syllabes, l'accent tonique, c'est-à-dire le son de voix le plus intense, tombe toujours sur la dernière lorsqu'elle n'est pas formée avec un *e* muet et sur l'avant-dernière dans le cas contraire.

De ce simple fait il résulte que, dans le corps d'un mot, si deux voyelles se suivent, la première n'est jamais accentuée. Si l'hiatus ne naît pas à l'intérieur d'un mot, ne serait-ce pas parce qu'il consiste réellement dans la succession immédiate de deux voyelles accentuées ou seulement de deux voyelles dont la première est accentuée ?

Pour être en mesure de chercher à vérifier cette double hypothèse, ajoutons que les monosyllabes gardent ou perdent l'accent tonique, selon les cas, en se fondant, au point de vue de la prononciation, avec le mot qu'ils précèdent ou avec celui qu'ils

suivent. C'est ce que font ressortir les exemples suivants où la voyelle accentuée est en caractères italiques : Nous *som*mes — y sommes-*nous?* Il vien*dra* — vient-*il?* Le so*leil* — amenez-*le*. Il est par*ti* — tel qu'il *est*.

Ne voit-on pas que de la présence d'une seule syllabe accentuée dans un mot et du fait qu'elle est la dernière syllabe non muette, résulte forcément que deux voyelles d'un même mot ne peuvent être accentuées toutes deux et que la première ne peut jamais l'être? Les mots composés et locutions toutes faites rentrent dans le même cas.

La fin d'un vers marque un certain repos de la voix, même si le sens continue, et tous les repos en général ont pour résultat d'empêcher qu'une voyelle à courir trop hâtée ne heurte celle qui la suit. L'*h* aspirée produit évidemment le même résultat et les interjections entraînent fatalement une coupure.

Quant à l'*e* muet terminant un mot, il empêche tout heurt entre les deux voyelles, en prolongeant *diminuendo* la voyelle accentuée qui le précède.

De l'étude des exemples de tous genres, il résulte que l'hiatus ou le choc des deux voyelles ne se fait sentir que lorsque la première est accentuée : il n'est pas nécessaire que la seconde le soit, et par suite la formule de Becq de Fouquières est trop restrictive. Lui-même, du reste, dit que l'hiatus se produit lorsqu'un mot terminé par une voyelle orale accentuée est suivie d'un mot commençant par une orale ou nasale, précédée ou non d'une *h* (non aspirée, ajouterons-nous). S'il fallait que les deux voyelles fussent accentuées, le second mot devrait forcément n'avoir qu'une voyelle ou en avoir deux dont la seconde fût muette. Or, on sait que cette condition n'est nullement nécessaire à la production d'hiatus fort désagréables.

M. Faguet et M. Dorchain paraissent admettre trop facilement que rien n'avait été dit de sensé sur l'hiatus jusqu'à ce jour : ils ne font aucune allusion à Becq de Fouquières, non plus qu'à Guyau, auquel nous emprunterons ce passage, qui ne nous paraît point méprisable :

« L'hiatus sera d'autant plus sensible que chacune des voyelles portera un accent tonique plus caractérisé : au contraire, si la première est plus faiblement accentuée, elle tendra à se fondre dans l'autre et à former un son composé, une sorte de diphtongue où tout hiatus disparaît : c'est pour cela que la rencontre des voyelles à l'intérieur des mots n'offre, en général, rien de choquant pour l'oreille : *suavité, jouet, poète, Danaé*, etc.

Ces sons composés ont, au contraire, une expression caressante. Tout autre est la rencontre de voyelles qui appartiennent à deux mots distincts et qui ont ainsi une existence indépendante l'une de l'autre : cette rencontre ne peut avoir lieu dans la langue française sans un heurt vraiment désagréable. C'est que, dans notre langue, l'accent tonique porte précisément sur la dernière syllabe de chaque mot... (1) »

Assurément, M. Dorchain a beaucoup ajouté à ses prédécesseurs; mais il ne faudrait pas croire qu'il ait été sans précurseurs. Ajoutons que son livre est du plus vif intérêt et que partout on y trouve la preuve de la délicatesse de son oreille de poète.

G. LECHALAS.

XX

LEZINGEN EN TOESPRAKEN, van W. DE VEER, S. J. Tweede bundel. Un vol. in-8° de 220 pages. — Amsterdam, E. Van der Vecht.

Sous ce titre général, le R. P. De Veer réunit des conférences sur des sujets variés, mais que rattache entre elles leur caractère apologétique; elles ont été données à un cercle de jeunes gens d'Amsterdam.

Un premier volume, publié en 1904, en contenait sept : *'t Bestaan van God. — De Staat zonder godsdienst. — Christus en de werkman. — Heldenmoed. — Geloof en wetenschap. — Lacordaire. — Schaepman.* Le second, qui vient de paraître, en ajoute cinq que nous allons parcourir rapidement.

Dans la première, *Vrijheid, Gelijkheid, Broederschap,* l'auteur établit que le Christianisme seul engendre et conserve la vraie liberté, la vraie égalité et la vraie fraternité. L'histoire montre qu'il en est ainsi; la raison et la foi démontrent qu'il n'en saurait être autrement. Les germes de ces plantes délicates, la sève qui les fait vivre sortent de la doctrine du Christ sur l'autorité venant de Dieu et s'exerçant dans la charité. C'est dans le Christ et par lui que nous sommes libres, égaux et frères.

Ces pensées sont développées avec ampleur, en un style souple et riche, aux tons çà et là un peu voyants qui rappellent la rhétorique du P. Félix, dont l'auteur s'est inspiré. Ses jeunes auditeurs ne lui en auront pas fait un grief.

(1) *Les Problèmes de l'Esthétique contemporaine*, p. 220.

Le discours suivant a été prononcé à l'occasion du XXVe anniversaire du sacre de S. S. Léon XIII. C'est un tableau éloquent de la vie et des œuvres de ce grand pape, Roi, Pontife et Père des peuples.

Vient ensuite une conférence sur le *Spiritisme*. Le P. De Veer en trace l'histoire à grands traits, décrit ses rites et en montre les dessous. Il rappelle les fraudes dont certains médiums célèbres se sont rendus coupables, non pour en conclure qu'il faille attribuer à la supercherie tous les phénomènes « métapsychiques », mais pour louer la prudence qui compte avec elle, dans tous les cas, et ne la croit absente qu'à bon escient. Après quoi, il expose les hypothèses auxquelles on a demandé une explication naturelle de ces phénomènes, *en les supposant réels*. Le magnétisme de Mesmer, la force psychique de Crookes, les effluves odiques de Reichenbach, les vibrations musculaires inconscientes de Lheman,... trouveraient peut-être, dans quelques cas, leur application, mais seraient à coup sûr impuissants à tout expliquer; bien plus, un certain nombre de ces phénomènes, *en les supposant réels*, seraient, de l'avis du P. De Veer, irréductibles à toute explication naturelle. L'assertion pourra ne pas paraître également évidente pour tous les exemples cités, mais peu importe; il nous suffit d'avoir indiqué la position prise par l'auteur. Elle peut se défendre, sans doute, mais on conçoit qu'on en adopte une autre: de phénomènes hypothétiques, il est oiseux de chercher une explication ou de la déclarer impossible. Qu'on étudie d'abord les faits; qu'on établisse ou qu'on ruine scientifiquement leur réalité : pour cela toute théorie est inutile, voire nuisible; après, on avisera... De ce qui restera debout, s'il reste quelque chose, l'explication se dégagera sans doute d'elle-même et à coup sûr (1). Ne serait-ce pas le parti le plus sage? — Quoi qu'il en soit, nous félicitons le P. De Veer de s'être bien gardé d'invoquer ces phénomènes occultes en faveur de la philosophie spiritualiste et religieuse : elle n'a que faire de pareils arguments. Si la « bonne intention » excuse ceux qui croient la servir en agissant autrement, elle n'est pas un motif suffisant pour qu'on leur souhaite des imitateurs.

La quatrième conférence a pour titre *Wonderen en hypnotisme*. Dans la première partie, l'auteur traite de la définition, de la possibilité et de la constatation du miracle. C'est un exposé

(1) Voir l'article du Prof. J. Grasset, *L'Occultisme*, dans la REVUE DES DEUX MONDES, livraison du 1er novembre 1906, p. 115.

net de la thèse classique, présentée dans ses traits essentiels et dégagée de maints aperçus, superflus ici, mais nécessaires dans un exposé didactique où l'on prétendrait à la pleine lumière. La constatation du miracle y est appuyée sur sa transcendance aux lois de la nature. Pour prouver cette transcendance, il n'est pas nécessaire de connaître positivement tout ce que peut la nature, il suffit de savoir ce dont elle est incapable, dans tel cas déterminé. Encore l'appel au « bon sens » ne suffit-il pas à trancher la question, et c'eût été l'occasion, croyons-nous, d'insister sur la sage prudence qui caractérise la conduite de l'Église dans la question du miracle : l'énumération des conditions exigées par Benoît XIV pour la vérification d'un fait miraculeux étonnerait sans doute maint critique parmi les plus exigeants. Nous eussions souhaité que l'auteur eût envisagé aussi le miracle dans sa finalité, et qu'il eût précisé le genre de certitude par lequel il s'impose à la foi éclairée de tout homme de bonne volonté.

La seconde partie de cette conférence est consacrée à l'étude de l'hypnotisme. L'auteur y compare le miracle à sa contrefaçon et examine, en particulier, quelques guérisons de Lourdes.

La dernière conférence est une étude littéraire à propos du poète hollandais *Nicolaas Beets*. On y trouvera d'utiles et intéressantes considérations sur le mouvement littéraire en Hollande, et la preuve, souvent faite mais toujours intéressante, que l'idée chrétienne, loin d'étouffer le génie poétique, le vivifie, l'épure et l'élève à des hauteurs qu'il n'eût point atteintes en dehors d'elle. L'auteur trouve ici l'occasion de prouver la thèse par son propre exemple — mieux encore que par le choix du poète qui en est l'occasion — en la traitant avec un art exquis et en termes excellents.

Nous recommandons volontiers ces belles et solides conférences aux jeunes gens surtout, aux élèves des collèges et aux étudiants des universités. En les lisant, nous n'en doutons pas, ils sauront gré à l'auteur de leur avoir procuré le plaisir et le profit qu'ont trouvés, en les écoutant, leurs camarades d'Amsterdam.

J. V. M.

REVUE

DES RECUEILS PÉRIODIQUES

GÉOLOGIE

Le surcreusement des vallées glaciaires. — Un phénomène très fréquent, dans les grandes vallées alpines, autrefois occupées par des glaciers, est la discordance qui se produit, au débouché des vallées latérales, entre le niveau des cours d'eau affluents et celui de la rivière principale. Après qu'une rivière affluente a longtemps coulé dans une vallée aux pentes modérées, au moment d'atteindre le confluent, une brusque rupture de pente se produit, qui oblige la rivière, soit à descendre en cascade, soit à traverser une gorge aux parois escarpées.

Le cours du Rhône en offre de nombreux exemples, dont les plus typiques sont la gorge de Trient et l'escarpement au fond duquel se fraye un passage, pour arriver à Monthey, le cours d'eau qui jusqu'alors avait arrosé le paisible val d'Illiez.

Comme les lois ordinaires de l'érosion fluviale comportent une concordance habituelle entre le niveau d'une vallée et celui des vallons affluents ; comme, d'autre part, la discordance signalée se produit toujours là où de grands glaciers ont autrefois existé, il est impossible de ne pas attribuer à ces derniers une influence prédominante dans le phénomène. Il est évident que la vallée principale a subi un approfondissement par le fait du glacier qui l'a occupée. Elle a été *surcreusée*.

Mais jusqu'ici on ne connaît aucun exemple de creusement opéré, sous nos yeux, par la pression de la glace ; et ceux qui, comme J. Vallot, ont osé pénétrer sous un glacier en remontant le cours d'eau qui s'en échappe, ont constaté que le glacier *ne touche même* pas le fond ; que même il n'existe pas, entre lui et la roche, de moraine profonde.

Donc, si le fait du *surcreusement* est incontestable, et si sa production est liée d'une façon certaine aux anciens glaciers, il semble que l'idée de l'attribuer à un pouvoir spécial d'érosion de la glace soit incompatible avec les propriétés connues de cette dernière.

M. Jean Brunhes (1) paraît avoir trouvé la clef de cette difficulté.

Il a remarqué que souvent, en travers des anciennes vallées glaciaires, on observe des buttes isolées, à la surface doucement arrondie, tandis que les flancs en sont tout à fait escarpés. On les qualifie en Suisse de *platten* ou d'*Iselberge*. Telles sont celles qu'on observe en avant des glaciers de Moming, d'Uebelthal, d'Aletsch. Leur analogie est frappante avec les bosses que contourne encore la langue extrême de certains glaciers (Grindelwald, Jægigletscher d'Aletsch).

Or il est à remarquer que les deux bords d'un fleuve de glace sont toujours marqués par des écoulements latéraux qui tendent à créer *deux torrents sous-glaciaires*, puisque c'est là qu'affluent toutes les eaux de fusion des versants. Chacun de ces torrents, menant l'attaque, doit creuser le fond du glacier sur le côté, après quoi la glace, par sa pression, entraîne les matériaux produits et régularise le chenal. On s'explique ainsi que le creusement soit porté au maximum *sur les côtés*, c'est-à-dire là où précisément la glace est le moins épaisse, et qu'entre ces deux sillons il puisse parfois subsister une protubérance. De même, si deux glaciers viennent à se réunir, le nombre des torrents sous-glaciaires se trouvera porté à trois, et ainsi on pourra observer deux bosses distinctes en travers de la vallée, comme c'est quelquefois le cas en Suisse.

En résumé, le *surcreusement* ne serait le fait du glacier que parce que celui-ci imprime à l'action torrentielle une *discipline* spéciale, suivant la juste expression de M. Brunhes. Mais la glace, par elle-même, n'opère pas directement comme agent de creusement.

Les époques glaciaires et l'âge du renne dans les Pyrénées. — On sait que MM. Penck et Brückner ont établi l'existence, autour du massif alpin, de quatre séries de cailloutis fluvio-glaciaires, correspondant à quatre périodes principales d'avancement des glaces quaternaires.

(1) Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, CXLII, pp. 1234, 1299.

Il était intéressant de savoir si la même succession s'appliquait aux Pyrénées, où M. Penck avait signalé, dès 1883, les traces de trois époques glaciaires. Un des élèves les plus distingués de M. Penck, M. Hugo Obermaier (1), vient de résoudre la question, à la suite d'une minutieuse étude des gisements sous-pyrénéens.

Le nombre des cailloutis, dans cette région, s'élève bien à quatre. Le plus ancien, ou *cailloutis des plateaux*, s'observe à environ 150 mètres au-dessus du lit actuel de la Garonne. Les alluvions, fortement décomposées, du plateau de Lannemezan, appartiennent à cette nappe.

Les autres cailloutis forment des terrasses; la *haute terrasse*, à 100 mètres au-dessus de la Garonne; la *moyenne terrasse*, à 55 mètres, et la *basse-terrasse*, à environ 15 mètres. Cette dernière est la seule dont on puisse constater le passage progressif à une ligne de moraines. Il n'y a donc, en réalité, aux Pyrénées, que des *moraines internes* qui soient conservées. Elles correspondent à la quatrième et dernière extension des glaces.

Mais l'intérêt du travail de M. Obermaier ne réside pas seulement dans l'assimilation qu'il a su établir entre les Pyrénées et les Alpes. Tandis que, dans ce dernier massif, il est pour ainsi dire impossible de trouver une station humaine paléolithique qui soit en relation certaine de position avec une des nappes de cailloutis, il en est autrement dans les Pyrénées.

D'après M. Obermaier, les plus anciennes stations paléolithiques du bassin de la Garonne appartiennent à l'acheuléen, c'est-à-dire à l'époque des outils en coup de poing bien travaillé, époque caractérisée par le mammouth et le rhinocéros à narines cloisonnées. Or toutes ces stations sont situées *sur la troisième terrasse*. Elles appartiennent donc à la dernière époque interglaciaire, à celle qui a séparé la troisième invasion des glaces de la quatrième et dernière. Cette conclusion est d'autant plus importante, que M. Penck avait cru devoir rapporter l'acheuléen à la *seconde* époque interglaciaire. Mais ce résultat lui avait été suggéré par l'examen de la terrasse très discutée de Villefranche-sur-Saône, où les relations sont très confuses, tandis qu'elles sont fort nettes dans les Pyrénées.

L'apparition, sur notre territoire, des hommes de la civilisation acheuléenne se trouve ainsi fortement rajeunie. Il en est de même, naturellement, de la civilisation magdalénienne, ou âge

(1) Archiv für Anthropologie, IV (1906), 299; V (1906), 1.

du renne. M. Penck la regardait comme contemporaine de la dernière extension des glaces. M. Obermaier établit que les cavernes à industrie magdalénienne (La Tourasse, Aurensan) ont dû être habitées à une époque où, dans ses crues, la Garonne n'atteignait plus le niveau de la quatrième terrasse. Ce que les archéologues appellent le *moustérien* correspondrait à la dernière extension glaciaire.

Pour les formations postglaciaires pyrénéennes de l'âge du renne, M. Obermaier admet la succession suivante, conforme à celle de M. l'abbé Breuil (1) :

1° *Présolutréen* ou *aurignacien ;* âge des *Felis spelæa*, *Cervus megaceros* et *Rhinoceros tichorhinus ;* lames de silex de caractères moustériens, premiers os travaillés en pointes ; en haut, cheval, bison et renne dominants ;

2° *Solutréen*, silex en feuilles de laurier, puis pointes à crans ; nombreuses aiguilles en os ; cheval et renne dominants ;

3° *Magdalénien :*

a) Inférieur : pas encore de harpons ; renne et antilope Saïga.

b) Moyen : harpons à une série d'encoches ; apogée des dessins au trait et des gravures ; renne fréquent, Saïga plus rare.

c) Supérieur : harpons à double série d'encoches ; apogée des soi-disant bâtons de commandement en os ; renne et cerf ;

4° *Azylien*, déclin du paléolithique et de l'industrie des silex taillés ; harpons plats perforés ; silex coloriés ; cerf.

Le présolutréen et le solutréen des Pyrénées correspondent à une époque de steppes, de climat continental, caractérisée par la prépondérance des équidés et des bovidés. Cette époque a préparé la phase de climat sec et froid du magdalénien, qui elle-même a été suivie par une phase que caractérise une faune forestière comprenant l'élan, le cerf et le lion, c'est-à-dire trois espèces qui n'existent plus aujourd'hui dans la région.

Les radiolarites et le soulèvement alpin. — L'étude de certaines régions montagneuses, notamment en Suisse et dans les Apennins, fait ressortir le rôle qu'y jouent les sédiments siliceux compacts, engendrés par l'accumulation d'enveloppes de *radiolaires*. On les décrit habituellement sous les noms de *jaspes*, de *hornstein*, de *schistes siliceux*, de *phtanites*, leurs couleurs les plus fréquentes étant le rouge, le brun, le vert, le

(1) *Congrès préhistorique de Périgueux*, 1905.

gris ou le noir. M. Steinmann (1) croit que ces sédiments siliceux, dont quelques-uns atteignent 100 mètres de puissance, doivent être regardés comme les équivalents du sable à radiolaires des grandes profondeurs maritimes du temps présent. Cela n'empêche pas que des dépôts à radiolaires ne puissent se former à de faibles profondeurs. Mais alors ils sont calcaires, tandis que le carbonate de chaux fait entièrement défaut dans les autres, pour lesquels M. Steinmann propose le nom de *Radiolarite*. Leur stratification provient généralement de ce que, entre les couches de radiolarite pure, dont l'épaisseur varie de celle du doigt à celle de la main, il s'intercale des couches très minces d'argile, habituellement colorée comme la radiolarite.

Les intercalations argileuses ne contiennent que rarement des traces de carbonate de chaux. En fait de fossiles, on n'y trouve guère que des *Aptychus*, moins souvent des bélemnites. Quand ces couches argileuses prédominent, on passe à un sédiment argileux de mer profonde, rouge ou brunâtre, extrêmement fin et homogène, susceptible d'alterner avec des calcaires noduleux, où les lits de stratification sont remarquables par l'état corrodé des surfaces. D'autres fois, il s'y associe des lits minces d'un calcaire siliceux à radiolaires, pouvant passer à des calcaires à *Aptychus*, parfois avec nodules siliceux.

Ce qui caractérise toutes ces roches, c'est l'élimination, partielle ou complète, du carbonate de chaux. Dans les calcaires noduleux, on voit les ammonites attaquées par le haut, avec isolement progressif des surfaces de suture. Dans les calcaires à *Aptychus*, les coquilles d'ammonites font défaut.

Les radiolarites se révèlent à diverses reprises dans les nappes charriées supérieures de la région alpine, où on les voit dans le *malm* (jurassique supérieur) et dans le néocomien. Les roches calcarifères à *Aptychus* sont faciles à reconnaître, mais il faut le microscope et l'analyse chimique pour discerner les radiolarites pures. Aussi les a-t-on souvent méconnues, les englobant sous les dénominations de schistes, de flysch, ou, quand elles sont bariolées, de *Sernifite*. Dans certaines régions compliquées, on a pu les prendre pour des couches permiennes ou tertiaires : mais partout où les relations d'âge ont pu être nettement précisées, elles se sont montrées en relation avec le jurassique supérieur

(1) Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. B, XVI (1905, p. 50).

et le crétacé. Les calcaires à *Aptychus* s'échelonnent, comme on sait, entre le malm et le néocomien.

Le trias alpin ne contient pas de radiolarites. Si on en trouve dans le trias des Iles de la Sonde, du moins elles y sont riches en coquilles de *Daonella* et, par conséquent, ne possèdent pas le caractère fondamental, qui est l'élimination à peu près complète du calcaire. Au contraire, il y a des radiolarites à Bornéo, à Boeroe, et à Seran, en compagnie de fossiles, *Aptychus* et *Belemnites*, du jurassique supérieur ou du crétacé inférieur.

M. Steinmann ajoute que, très généralement, les radiolarites sont recouvertes par des sédiments clastiques à grain grossier, tels que les brèches cénomaniennes à hornstein des Alpes bavaroises, les conglomérats de Gosau, etc. En revanche, on ne trouve pas, parmi ces dépôts, de représentants des sédiments à foraminifères de la craie (couches de Seeven, *Scaglia*, couches rouges de la Suisse). Au contraire, là où s'observent ces derniers sédiments, il y a absence des dépôts néojurassiques de mer profonde.

En résumé, il semble que les zones sédimentaires, aujourd'hui comprises dans les plis alpins, qui à l'époque jurassique occupaient les profondeurs abyssales, ont dû être, lors du crétacé, assez rapidement soulevées pour ne pouvoir être recouvertes que par des dépôts grossiers. C'est un soulèvement d'au moins cinq kilomètres qu'il faut ainsi concevoir, comme s'étant accompli lors du crétacé moyen. Ce soulèvement n'a eu lieu que dans la partie profonde du géosynclinal alpin, tandis qu'au nord et au sud continuait à prévaloir l'affaissement lent qui a permis aux sédiments crétacés de se succéder régulièrement.

C'est ainsi que M. Steinmann est amené à concevoir, pour la région alpine, un soulèvement ancien, accompagné de plissement, de la zone médiane du géosynclinal. Tandis que les zones bordières continuaient à recevoir une couverture sédimentaire ininterrompue, la zone centrale n'était recouverte que temporairement par des assises cénomaniennes, turoniennes et sénoniennes, formées sous faible profondeur d'eau. Même la mer nummulitique et celle du flysch ne paraissent pas avoir submergé la zone centrale.

M. Steinmann admet que l'injection des *roches vertes* ou *ophiolitiques* des Alpes a eu lieu à l'époque du soulèvement de l'ancienne zone abyssale du géosynclinal. Plus tard, les couches de cette zone ont été violemment plissées et charriées sur de grandes longueurs, et voilà comment la présence des roches vertes est

caractéristique, non pas de toutes les nappes de charriage des Alpes, mais seulement de la nappe dite *rhétique*, celle qui, ayant débordé la nappe des klippes et celle de la brèche du Chablais, a été plus tard, à son tour, débordée par la *nappe des Alpes orientales*. Celle-ci aurait joué, par rapport à la précédente, le rôle du *traîneau écraseur* de M. Termier.

Si l'on doit se féliciter de l'adhésion de M. Steinmann à la conception des charriages alpins, qu'il se refusait à admettre lors de la réunion de la Société géologique de France au Chablais, on peut regretter que, dans l'expression de ses nouvelles idées, il n'ait pas montré une justice suffisante à l'égard de M. Lugeon. M. Steinmann s'est plu à reporter sur M. Schardt tout le mérite originel de ce qu'il appelle l'*Ueberschiebungs-* et *Ueberfaltungstheorie*. Or, si M. Schardt est réellement le premier qui ait exprimé l'idée que les Préalpes étaient occupés par une grande masse de transport *venue du sud*, il concevait ce mouvement comme un *glissement*, opéré le long du versant nord des Alpes, et amenant le front de la masse charriée au contact de la mer oligocène, à laquelle cette masse aurait sans cesse fourni des sédiments.

Or il n'y a que l'idée du transport en masse qui soit commune à cette conception et à celle de M. Lugeon, pour qui les terrains charriés forment autant de *plis couchés* et partiellement rompus, qui se débordaient les uns les autres à la façon des vagues de la mer, et dont le déplacement a eu lieu *en profondeur*, bien avant le soulèvement et le démantèlement qui les ont fait venir au jour. C'est donc bien M. Lugeon qui doit être considéré comme ayant formulé le principe des *nappes de plis charriés*, développement de l'idée émise dès 1883 par M. Marcel Bertrand.

Les nappes alpines à l'est du Rhætikon. — Pour se convaincre de l'importance et de la précision qu'a revêtues aujourd'hui la conception des nappes alpines, il suffit de jeter les yeux sur le beau travail qu'un des élèves de M. Steinmann, M. von Seidlitz (1), a consacré tout récemment à la partie orientale du Rhætikon. Par l'étude d'escarpements qui mettent à découvert des coupes de 1000 mètres suivant la verticale, il a pu définir et résumer dans un diagramme saisissant le phénomène de superposition et de chevauchement qui, au-dessus du flysch du

(1) Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. B., 1906.

Prættigan (lequel paraît en majeure partie crétacé), accumule successivement : 1° La nappe mainte fois repliée des *klippes*, caractérisée par le grand développement des calcaires tithoniques (calcaires à nérinées de la Sulzfluh), en longs anticlinaux plongeants, enveloppés par des couches rouges du crétacé supérieur; 2° la nappe de la *brèche*; 3° la nappe *rhétique*, avec ses serpentines et ses couches à radiolaires; 4° enfin, la nappe si étrangement repliée des Alpes orientales, où un énorme anticlinal de gneiss, atteignant par endroits 1500 mètres, plonge également au nord, depuis le Bilkengrat et la Gaisspitze, toujours enveloppé d'un manteau plus ou moins laminé de sédiments triasiques, tels que les dolomies de la Mittagspitze.

Ces gneiss avaient été considérés autrefois comme des massifs centraux en dôme. Or, l'observation montre, non seulement qu'ils ne sont épanouis que dans les parties supérieures, s'amincissant tous vers le bas, mais que partout, non seulement en haut et en bas, mais aussi sur les côtés, ils se montrent *enveloppés* d'un véritable manteau de verrucano permien et de trias.

Il est bon d'ajouter que l'attribution des calcaires de la Sulzfluh au tithonique inférieur, attribution fondée sur les fossiles, notamment les nérinées, identiques à celles de Stramberg, qu'ils contiennent, fait disparaître une anomalie de la structure des Alpes rhétiques. Jusqu'en 1891, on a cru que ces calcaires appartenaient au crétacé inférieur et représentaient un facies du *schrattenkalk* helvétique. Cette apparition des sédiments helvétiques en plein territoire alpin était inexplicable. Elle disparaît depuis que MM. Rothpletz, Lorenz et von Seidlitz ont démontré qu'il s'agissait de calcaires tithoniques.

Le rôle géologique de la vallée du Rhin. — La vallée du Rhin, en amont du Lac de Constance, sépare si nettement les Alpes suisses des Alpes orientales; le régime sédimentaire, à l'ouest de cette ligne, est si différent de ce qu'il est à l'est, qu'on a toujours attribué à la ligne du Rhin un rôle géologique de grande importance.

Jusqu'à ces dernières années, ce rôle semblait facile à définir. Il était naturel d'admettre que, pour creuser la vallée, l'érosion eût choisi de préférence les points où s'accomplissait le passage du facies *helvétique* ou occidental des sédiments au facies oriental, caractérisé surtout par le remarquable développement des calcaires du trias.

Une chose cependant restait bien difficile à expliquer : nulle

part on n'avait constaté de transition ménagée entre les deux facies. Or comment concevoir que les énormes masses sédimentaires du Rhætikon fussent venues buter brusquement contre une région de sédimentation absolument distincte?

L'aspect du problème a changé du tout au tout, depuis qu'il est admis qu'au lieu de résulter du plissement régulier d'une masse sédimentaire en place ou *autochtone*, les Alpes calcaires du nord représentent une énorme nappe charriée, venue du sud. A la lumière de cette conception, M. Steinmann (1) a analysé de plus près le phénomène. Il a reconnu qu'au-dessus de la nappe de la brèche du Chablais, considérée par M. Lugeon comme la plus haute des Alpes suisses, il en existe une autre, caractérisée par son développement dans les Grisons, et qu'il appelle la nappe rhétique. Dans cette nappe abondent les roches vertes ou ophiolitiques. On peut la suivre depuis la région des Klippes et constater que, à partir du Rhin, elle s'enfonce nettement, avec toutes les nappes précédentes, *sous la masse* de la nappe la plus récente de toutes, celle des Alpes orientales. Alors que le territoire helvétique se distingue par l'existence de massifs anciens autochtones, qui sont ceux du Mont-Blanc et de l'Aar, lesquels massifs plongent à l'est, avec les nappes superposées, sous la carapace orientale, celle-ci laisse apparaître des noyaux de granite et de gneiss, non autochtones, mais charriés du sud avec la nappe dont ils font partie.

Ainsi on peut dire que l'érosion a choisi, pour creuser la vallée du Rhin, l'emplacement de la lacune qui séparait le territoire des anciens massifs autochtones de celui des *massifs centraux* allochtones de la chaîne orientale.

Les gîtes de manganèse de la Bosnie. — On sait qu'un des caractères des grands fonds du Pacifique est l'abondance des nodules concrétionnés d'oxyde de manganèse, épars à la surface de l'argile rouge abyssale. Il était intéressant de savoir si quelque chose d'analogue ne se trouverait pas parmi les formations géologiques.

Or ce cas paraît être réalisé en Bosnie, dans le district minier de Cevlganovic, au nord de Serajevo (2). On exploite en ce point

(1) Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. B., 1905.

(2) Katzer, Berg und huttenmannisches. Jahrbuch der k. k. montanistischen Hochschulen zu Leoben und Przibram, LIV (1906).

un gîte de manganèse (principalement de psilomélane), où le minerai constitue des veines et des nodules au sein d'un système de couches extrêmement plissées, qui consistent en schistes marneux et en schistes siliceux alternants, accompagnés de tufs. Ce système est pincé dans un pli synclinal des calcaires du trias, et, à peu de distance, dans le prolongement des schistes marneux de la base, on a recueilli près de Vares des ammonites du lias supérieur.

Les schistes siliceux, qui méritent souvent le nom de jaspes, sont rouges ou verts et rubanés. M. Steinmann et M. Katzer n'hésitent pas à y voir des *radiolarites* typiques; et d'ailleurs l'examen microscopique y a fait nettement ressortir la présence de radiolaires. D'après les relations du gisement, où l'on voit apparaître en haut des calcaires tithoniques, la principale partie des radiolarites doit appartenir aux étages moyens et supérieurs (*dogger* et *malm*) du terrain jurassique. Ce seraient des formations abyssales, semblables à celles qui ont dû se déposer au même moment dans le synclinal alpin, et qu'on retrouve aujourd'hui dans les nappes des Grisons. Et l'oxyde de manganèse y aurait pris naissance, par décomposition des débris éruptifs des tufs, dans des conditions analogues à celles qui déterminent de nos jours la formation des nodules manganésés dans les abîmes du Pacifique.

L'exploration géologique des Indes orientales. — L'exploration géologique des Moluques, dont M. G. Boehm a fait connaître en 1902 les premiers résultats (1), continue à progresser, grâce à l'élan donné par ce savant et aux relations qu'il a su se ménager avec les résidents hollandais de la colonie. Sous le titre de *Neues aus dem Indo-Australischen Archipel*, M. Boehm vient de publier, dans le volume XXII *(Beilageband)* du Neues Jahrbuch für Mineralogie, etc., un aperçu rempli de faits intéressants.

Nous citerons tout d'abord la découverte, dans l'île Boeroe, d'un affleurement en place de calcaire blanc, contenant une ammonite du genre *Perinsphinctes,* étroitement alliée au groupe *biplex-plicatilis*. L'échantillon était si complètement semblable à ceux qu'on recueille en Souabe, que s'il ne s'était pas trouvé dans un envoi provenant en ligne directe des Moluques,

(1) Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft, t. 54, p. 554. Voir aussi Palæontographica, suppl. IV. Stuttgard, 1904.

M. Boehm aurait cru à une confusion. L'authenticité de la trouvaille a été vérifiée depuis lors. C'est à Mefa, à environ 400 mètres au-dessus de la mer, qu'affleurent les calcaires blanchâtres, à *Perinsphinctes* et *Phylloceras,* dont l'âge est vraisemblablement oxfordien.

Ce n'est pas le seul enseignement que nous donnent les Moluques. Sur la côte sud de l'île Misol, affleure une argile avec mollusques qui rappellent absolument les *Plicatula spinosa* et *Lima gigantea* du lias européen ; et leur association avec des ammonites du genre *Harpoceras* confirme cette détermination.

Ainsi, à 2 degrés de l'équateur, la faune du jurassique des Indes orientales, qu'il s'agisse du lias ou de l'oxfordien, se montre identique à celle de l'Europe moyenne, et l'identité s'étend même à la nature des dépôts.

Pour comprendre l'importance de ce résultat, il convient de se reporter à un quart de siècle en arrière. C'était le temps où Neumayr, le célèbre et si regretté géologue de Vienne, entreprenant une restitution des mers à l'époque jurassique, croyait devoir imaginer, sur l'emplacement même des Indes orientales, un continent *sino-australien*, reliant la Chine avec l'Australie. En même temps, il croyait pouvoir conclure, de la répartition jusqu'alors connue des ammonites jurassiques, à l'existence de provinces zoologiques déterminées par la température des mers ; de sorte que certains genres d'ammonites auraient été essentiellement boréaux et d'autres exclusivement méridionaux.

La croyance au continent *sino-australien* paraissait alors si justifiée, que quand on annonça qu'un voyageur, forcé malgré lui de relâcher dans la petite île de Rotti, près de Timor, avait recueilli, parmi les débris expulsés par le volcan de boue, une *ammonite du lias de l'Europe,* M. Suess ne voulut pas d'abord admettre ce résultat, et crut à une erreur provenant d'un mélange de fossiles.

Or les découvertes se multiplient aujourd'hui, aux Indes orientales hollandaises comme en Nouvelle-Guinée, attestant que les mers du permien, du trias et du jurassique ont largement couvert cette contrée. De plus, aux îles Taliaboe et Mangoli comme sur la côte nord de la Nouvelle-Guinée hollandaise (baie de Walckenaer), on trouve les couches de passage du jurassique au crétacique (étage berriasien), caractérisées par les *Hoplites Wallichi* et *Phylloceras strigile.* Ces mêmes espèces se retrouvent identiquement au pied nord de la grande chaîne himalayenne, au Spiti comme au sud de Lhassa.

Par conséquent, il est certain que l'ancienne Méditerranée centrale, la *Tethys* de M. Suess, reliait les mers de l'Europe au Pacifique en passant sur l'emplacement de l'Himalaya, d'où elle venait rejoindre les Moluques et les Indes orientales, passant *juste à travers* le prétendu continent sino-australien.

Ce n'est pas tout : on vient de voir que le facies paléontologique et lithologique de l'Allemagne du nord se reproduisait sous l'équateur même. De plus, dans les couches berriasiennes, le genre boréal *Hoplites* se montre associé au genre méridional *Phylloceras*. Enfin, dans ces contrées méridionales, notamment au Spiti, la proportion des *Phylloceras* aux *Perisphinctes* est seulement de 1 à 40, tandis que ce devrait être l'inverse si *Phylloceras* était vraiment un type méridional.

On voit donc combien il importe d'être prudent, avant de conclure à la température probable des mers d'après la distribution des ammonites. Celle-ci paraît avoir été bien plutôt influencée par l'ensemble des conditions physiques, distance aux rivages, profondeur, courants, etc. Un autre exemple de conclusions hâtives est donné par l'étude du *Belemnites Gerardi*, espèce très fréquente dans le jurassique de l'Himalaya, et retrouvée abondamment aux Moluques. On la croyait boréale, et appartenant au groupe des *absoluti*, caractéristique du nord de l'Europe pendant le jurassique supérieur. M. Boehm a reconnu que c'était une erreur, et que ce type faisait réellement partie du groupe des *canaliculati*.

En résumé, le progrès de la géologie dans les Indes orientales nous promet, non seulement beaucoup de faits nouveaux, qui préciseront la paléogéographie de ces régions, mais d'autres renseignements de portée générale, destinés à élargir nos conceptions sur la distribution des organismes.

L'Antarctide. — A peine revenu de sa mémorable expédition dans l'Antarctide, M. Otto Nordenskjoeld avait reconnu, par l'examen des roches recueillies, que la partie moyenne et occidentale de la Terre de Graham laisse apercevoir une zone plissée, qui est le pendant exact de la Cordillère de la Patagonie et de la Terre de Feu. On y trouve la même série de diorites, diorites quartzifères, gabbros, porphyrites, ainsi que les mêmes schistes cristallins.

Or, comme l'a fait remarquer M. Wilckens (1), cette analogie

(1) Centralblatt fur Mineralogie, etc., 1906, p. 173.

des deux territoires se complète par l'existence, à l'est de la zone plissée, de terrains sédimentaires à stratification peu troublée. Les couches crétacées fossilifères de l'île Seymour correspondent à celles de la Patagonie méridionale. Ce n'est pas tout, et les couches tertiaires de l'île Seymour, où M. Wiman a signalé des restes de grands pingouins, seraient de l'âge de la mollasse patagonienne, c'est-à-dire qu'elles appartiendraient, soit à l'oligocène supérieur, soit au miocène inférieur.

M. Wilckens signale encore une autre ressemblance. On sait que, dans la Cordillère de la Terre de Graham, au golfe de l'Espérance, M. Andersson a trouvé une riche flore terrestre, que ses affinités semblent rattacher à la base de la série mésojurassique. Cette flore se trouve dans des schistes noirs, auxquels sont subordonnés des tufs éruptifs. Or, dans la partie septentrionale de la Patagonie, près du Rio Limay, M. Roth a trouvé du lias, qui contient à la fois des coquilles marines et des plantes terrestres, tandis que, dans l'intérieur de la Patagonie, on ne connaît aucun dépôt marin de l'époque jurassique. N'en doit-on pas conclure, avec M. Wilckens, que lors des temps jurassiques, il existait, sur l'emplacement de la Patagonie actuelle et de la Terre de Graham, un continent qui unissait l'Amérique du Sud avec une partie au moins de l'Antarctide?

On sait d'ailleurs que beaucoup de raisons biologiques ont été alléguées en faveur de l'existence d'un centre de création antarctique. Ainsi une même tortue géante, du genre *Miolania*, se rencontre à la fois dans l'Amérique du Sud et la région australo-néozélandaise. De même, il y a des rapports étroits entre les marsupiaux de Santa Cruz et ceux de l'Australie. D'autre part, il ne paraît pas y avoir de plissements sur la Terre Victoria, qui se composerait d'un vieux fond de granite et de schistes cristallins, analogue à l'archéen d'Australie.

A. de Lapparent.

NÉCROLOGIE

W. Lossen et E. Venneman

La Société scientifique de Bruxelles a perdu récemment l'un de ses membres honoraires, M. W. Lossen, d'Heidelberg, professeur émérite de l'Université de Königsberg, et M. E. Venne-

man, membre de l'Académie royale de Médecine de Belgique, professeur à l'Université de Louvain, et ancien président de la IVe Section de la Société scientifique.

Wilhelm Lossen était né à Kreuznach (Prusse rhénane), le 8 mai 1838. Après de brillantes études universitaires commencées à Giessen et poursuivies à Göttingen et dans les laboratoires de Karlsruhe et de Halle, il fut agrégé, en 1866, à l'Université d'Heidelberg, et nommé, à Königsberg, professeur extraordinaire de chimie en 1870, et professeur ordinaire en 1877. Il occupa cette chaire jusqu'à son éméritat. C'est à Heidelberg qu'il passa, dans la retraite, les dernières années de sa vie, entouré de la haute et affectueuse estime de ses anciens collègues, et dans tout l'éclat d'une renommée scientifique qu'il accrut encore par d'importantes publications. Il est mort à Aix-la-Chapelle, le 30 octobre 1906, au cours d'une visite de famille.

Entre autres travaux publiés par le Dr Lossen pendant sa longue et féconde carrière, il faut rappeler ses études sur les propriétés des atomes (1876), sur la formation et les examens des étudiants en chimie (1897), sur la part des catholiques dans l'enseignement académique en Prusse, etc. Ce dernier travail eut un grand retentissement. Il a été publié dans le VEREINSSCHRIFT DER GÖRRESGESELLSCHAFT (1901) ; l'auteur avait traité le même sujet, l'année précédente, au Congrès international des catholiques, à Munich. Rappelons aussi sa célèbre lettre ouverte à A. Ladenburg, publiée en 1903.

M. le Dr De Lantsheere consacrera au Dr Venneman une notice détaillée, que publieront les ANNALES de la Société.

L'éminent professeur de Louvain était né à Zele, le 25 janvier 1850; la mort le frappa en pleine activité, le 13 novembre dernier.

Élève de l'Université catholique, il y fut appelé à la charge du professorat à l'issue de ses études qu'avaient couronnées es plus brillants succès. L'anatomie descriptive, plus tard l'histologie, plus tard encore l'ophtalmologie lui furent confiées. « Son instruction, écrit M. le Professeur E. Masoin, alimentée par un travail de chaque jour, était devenue telle que, sans offenser personne et sans forcer la langue de l'éloge, j'ose le placer au premier rang parmi les membres de nos Facultés de Médecine pour l'étendue des connaissances acquises (1). »

(1) BULLETIN DE L'ACADÉMIE ROYALE DE MÉDECINE DE BELGIQUE, IVe série, t. XX, nos 7-10, Séance du 27 octobre 1906, p. 815.

Nommé correspondant de l'Académie de Médecine, en 1887, il devenait membre titulaire en 1898. Il ne cessa de collaborer aux travaux de l'Académie par de nombreux rapports officiels et des communications personnelles, en même temps qu'il enrichissait de multiples publications la littérature médicale en Belgique et à l'étranger. Signalons, entre autres, sa collaboration à l'*Encyclopédie française d'Ophtalmologie*, et aux ANNALES de la Société scientifique.

Le Dr Venneman faisait partie de la Société scientifique depuis 1879; il dirigea les travaux de la quatrième section pendant trois années consécutives, de 1888 à 1891.

La loyauté et l'amabilité du caractère, l'étendue et la solidité des connaissances, lui conciliaient toutes les sympathies et lui donnaient une autorité que l'on subissait volontiers.

BULLETIN BIBLIOGRAPHIQUE

Dr Niels Nielsen. — HANDBUCH DER THEORIE DER GAMMAFUNKTION. Un vol. in-8° de x-326 pages. — Leipzig, Teubner, 1906.

Nos lecteurs connaissent déjà le *Handbuch der Theorie der Zylinderfunktionen* du même auteur. Contentons-nous de donner le plan d'ensemble de cette nouvelle et intéressante monographie.

Première partie. — Étude, sous forme élémentaire et sans intervention des intégrales définies, des propriétés fondamentales de la fonction Γ et des fonctions connexes.

Seconde partie. — Intégrales d'Euler et intégrales définies des fonctions simples qui s'expriment au moyen de la fonction Γ.

Troisième partie. — La fonction considérée comme élément de développement. Étude des séries $\sum_{s=0}^{\infty} \frac{s!\, a_s}{x(x+1)\ldots(x+s)}$.

L'ouvrage contient une bibliographie développée et un index alphabétique. F. W.

Dr J. Frischauf. — DIE ABBILDUNGSLEHRE UND DEREN ANWENDUNG AUF KARTOGRAPHIE UND GEODASIE. Un vol. de 32 pages. — Leipzig, Teubner, 1905.

Définition de la « figuration » d'un système de points par un autre. En général deux régions infiniment petites qui se corres-

pondent sont des figures affines; tout comme une figure infiniment petite en géométrie non-euclidienne jouit des mêmes propriétés que sa correspondante en géométrie euclidienne.

La loi d'affinité met aussitôt en évidence l'existence en chaque point des directions principales. La représentation d'une surface sur une autre peut viser soit à la conservation des aires, soit à celle des angles (représentation conforme). Formules analytiques générales.

Applications. — Représentation de l'ellipsoïde sur la sphère, de la sphère et de l'ellipsoïde sur le plan. Représentations cartographiques usuelles. Représentations cartographiques d'introduction récente: représentation conforme de la sphère dans un carré et dans une épicycloïde, projections polyédriques.

F. W.

I. Pionchon. — Principes et Formules de Trigonométrie rectiligne et sphérique *(Bibliothèque de l'Élève-Ingénieur)*. Un vol. grand in-8° de 146 pages et 63 figures dans le texte.— Paris, Gauthier-Villars, 1906.

Ce volume n'est ni un *Cours de Trigonométrie*, écrit pour les écoliers, où un praticien ne trouverait pas tout ce qui lui est nécessaire, ni un *Traité de Trigonométrie* écrit pour les mathématiciens, où bien des développements seraient, pour eux, superflus; c'est un memento raisonné des principaux emprunts que, pour les besoins de l'étude et de la pratique des sciences appliquées, l'Élève-Ingénieur peut être amené à faire aux principes et aux formules de la trigonométrie rectiligne et sphérique. La clarté, la précision, le choix des matières et celui des applications et des exemples en font un livre excellent et éminemment utile.

Rev. T. R. R. Stebbing. — Das Tierreich. 23 Lieferung. Crustacea. Amphipoda. I. *Gammaridea.* — Berlin, sept. 1906; xxxix-806 pages.

Tout le monde connaît ces écrevisses en miniature, qui fuient lorsqu'on soulève une pierre dans un ruisseau, une touffe d'herbe dans une mare, une poignée d'algues sur les côtes de la mer. Ce sont les *Gammaridiens*, petits crustacés et excellents nageurs, à deux lignes de rames, cinq paires de pieds peréopodes, trois paires de pléopodes, trois paires d'uropodes ; le telson, appareil propulseur, termine leur abdomen. L'étude de ces Arthropodes,

poussée à fond par M. Stebbing, de Londres, fait l'objet de la 23[me] livraison de l'ouvrage en cours de publication à Berlin : *Das Tierreich*, *Le Règne animal*.

Les individus sont légion, et leurs espèces sont également nombreuses. Ce sont des êtres cosmopolites : ils arrivent à 600 kilomètres du pôle nord et à 4054 mètres au-dessus du niveau de la mer. Toujours aquatiques, un nombre restreint d'espèces vit loin de l'eau, dans des endroits humides.

M. Stebbing compte 41 familles, 304 genres certains et 9 douteux, 1076 espèces certaines et 257 douteuses. Plusieurs espèces et genres, voire même des familles, ont été créés par l'auteur.

Comme d'habitude, pour les livraisons de *Das Tierreich*, la description des espèces, précédée de la synonymie, est complète. Des clés synoptiques précises des espèces, genres, familles, aident la détermination. La bibliographie est très riche, les tables très détaillées.

Le texte est en anglais et illustré de 127 figures.

L. N., S. J.

M. Paul Matschie. — ÉTUDES SUR LA MAMMALOGIQUE DU CONGO, t. I, fasc. I. — Bruxelles, octobre 1906.

Le sanglier noir, *Hylochoerus ituriensis* Matschie, fait l'objet de cette monographie qui ouvre une série dans les ANNALES DU MUSÉE DU CONGO.

Le genre *Hylochoerus* ne date que de 1904 et compte déjà trois espèces : *Meinertzhageni, rimator* et *ituriensis*, la nouvelle espèce du Congo, dont la description très détaillée avec figures, cinq superbes planches, deux photochromies, est donnée ici.

La suite de ces mémoires mammalogiques nous apportera sans doute d'autres surprises, que nous réserve la riche faune du Congo.

L. N., S. J.

D. Cannon. — SEMER ET PLANTER. LE PROPRIÉTAIRE PLANTEUR. TRAITÉ PRATIQUE DES REBOISEMENTS ET DES PLANTATIONS DES PARCS ET JARDINS. Troisième édition, revue et corrigée, ornée de 365 figures. Un vol. in-8° de VIII-384 pages. — Paris, 1906, Lucien Laveur.

Ce titre, que nous abrégeons d'un bon tiers, est celui de la nouvelle édition d'un livre dont il a été donné un compte rendu détaillé ici-même en 1893. Nous n'en parlerons donc que sommairement, sans insister d'ailleurs sur quelques additions peu importantes à l'édition précédente.

La division est toujours la même, en douze chapitres que l'on pourrait avantageusement grouper en quatre ordres de considérations différentes :

1° Aperçus économiques, financiers et de culture générale; 2° description des essences forestières et de leurs tempéraments et exigences suivant le climat, l'exposition, la nature du sol, etc., en vue des opérations de reboisement; 3° application différente aux plantations d'alignement le long des routes, avenues ou cours d'eau, ou d'ornement dans les parcs et jardins paysagers; 4° enfin, données sylvicoles générales sur la tenue et l'entretien des bois et massifs forestiers, objet du douzième et dernier chapitre.

A signaler les descriptions assez complètes de toutes les essences forestières, avec détails botaniques figurés à l'appui, tant arbres résineux qu'arbres à feuilles caduques, ainsi que les différents modes et méthodes de boisement ou repeuplement par semis, plantations ou autres, en général et spécialement pour chaque essence.

Les indications analogues sont fournies pour les travaux concernant les plantations d'alignement et l'ornementation, par les arbres, des jardins et des parcs, comme il a été dit plus haut.

Cet ouvrage, très pratique, convient à tout propriétaire de bois ou terrains propres au boisement, ainsi que des parcs à former ou à embellir. Nous ne pouvons que confirmer ici les éloges donnés naguère à la seconde édition.

C. DE KIRWAN.

ÉTAT ACTUEL DES INDUSTRIES ÉLECTRIQUES. Conférences faites sous les auspices de la *Société française de Physique* et de la *Société d'encouragement pour l'Industrie nationale* Un vol. gr. in-8° de 246 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1906.

Ces conférences avaient pour but de donner une vue d'ensemble sur les industries électriques. On les a réunies en un volume de lecture facile pour l'ingénieur et le technicien. Sans contenir d'études théoriques, cet ouvrage, rédigé par des spécialistes éminents, donne sur tous les points des renseignements précis et actuels. Voici la table des matières : PAUL JANET. Sur les tendances et les recherches actuelles de l'Électrotechnique (pp. 1-27, 4 fig.). — CHAUMAT. Les progrès récents de l'Électrochimie (pp. 27-54, 10 fig.). — R.-V. PICOU. Les principes généraux dans la construction des dynamos à courant continu (pp. 54-63.). — A. HILLAIRET. Les moteurs électriques dans l'industrie (pp. 63-93). —

Jumau. État actuel de l'industrie des accumulateurs (pp. 93-140, 3 fig.). — Boucherot. Les principes généraux dans la construction des alternateurs (pp. 140-179, 3 fig.). — P. Weiss. Les progrès récents de l'éclairage électrique (pp. 179-214, 5 fig.). — G. de la Touanne. État actuel de la téléphonie (pp. 214-246, 15 fig.).

E. Brunswick et **M. Aliamet**. — Induits a courant continu. *Construction du noyau de l'armature, du croisillon et du collecteur*. Petit in-8° avec figures *(Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire)*. — Paris, Gauthier-Villars et Masson.

Ce volume fait suite à deux autres que les auteurs ont antérieurement consacrés à l'exposé des règles de bobinage et à l'exécution pratique des enroulements d'induits à courant continu. Il traite de la construction et du dimensionnement des pièces mécaniques d'un induit; le noyau de l'armature, le croisillon et le collecteur. Un chapitre spécial est consacré au rappel des formules relatives à la résistance des matériaux employés à construire ces organes. MM. Brunswick et Aliamet appellent l'attention sur l'application de l'examen métallographique aux aciers et tôles d'induits. Cet examen, d'après leur expérience personnelle, semblerait devoir renseigner rapidement et avec assez de certitude sur la valeur magnétique de ces matériaux. Les ateliers de construction disposeraient ainsi d'une méthode nouvelle très expéditive pour le classement des produits.

E. Varenne. — L'Alcool dénaturé. Petit in-8° de 169 pages (*Encyclopédie scientifique des Aide-Mémoire*). — Paris, Gauthier-Villars et Masson.

L'alcool dénaturé est destiné à prendre une place fort importante parmi les matières premières de l'industrie qui trouve en lui une source puissante d'énergie. Le présent ouvrage étudie ce produit d'une façon générale : Historique de l'alcool dénaturé; sa composition, étude de ses divers produits constituants : alcoométrie de l'alcool dénaturé; son analyse, ses emplois frauduleux dans les liquides destinés à l'alimentation, réglementation administrative.

La question de l'alcool dénaturé ayant été mise à l'étude en France, au sein d'une Commission extra-parlementaire, l'ouvrage donne les résultats des travaux de cette Commission et se termine par le Rapport magistral de M. Troost.

LES

MUSÉES D'HISTOIRE NATURELLE

AUX ÉTATS-UNIS

Les grands musées des États-Unis d'Amérique ont fait l'objet d'un travail récent publié par M. A. B. Meyer, directeur du Musée de Dresde, dans les MÉMOIRES de cet établissement (1), et traduit en anglais pour l'ANNUAL REPORT OF THE SMITHSONIAN INSTITUTION (2).

M. Meyer est allé en Amérique pour y étudier la construction et la disposition des monuments publics bâtis pour servir de musées. Nous y sommes allé pour étudier les méthodes de travail et d'exposition des savants américains. M. Meyer s'est surtout préoccupé du contenant; je voudrais, au contraire, insister sur le contenu des musées américains.

Voici ceux que j'ai visités : à San Francisco, celui du Golden Gate Park et celui de l'Académie des Sciences; à Chicago, le Field Columbian Museum et celui de l'Académie des Sciences; le Musée et la Bibliothèque de Buffalo; l'Institut Carnegie, à Pittsburg; la Smithsonian Institution et le National Museum, à Washington; le Musée de l'Académie des Sciences, à Philadelphie;

(1) ABHANDLUNGEN UND BERICHTE DES K. ZOOLOG. UND ANTROPOL.-ETHNOG. MUSEUMS IN DRESDEN. B. IX, 1900-1901, B. X, 1902-1903.

(2) *Studies of the Museums and kindred Institutions of New-York City, Albany, Buffalo and Chicago, with notes on some european Institutions*, ANNUAL REPORT OF THE SMITHSONIAN INSTITUTION... for the Year ending June 30, 1903. Report of the U. S. National Museum. Washington, 1905.

l'American Museum of Natural History, à New-York; le Brooklyn Institute of Art and Sciences; enfin, les Musées d'Albany et de Cambridge.

Le Musée de Cambridge, où Agassiz a rassemblé tant de merveilles zoologiques, mérite une étude spéciale; nous nous proposons de la faire plus tard, il n'en sera donc pas question ici. D'ailleurs, mon intention n'est pas de décrire chacun de ces musées mais de signaler dans chacun d'eux ce qui intéresse surtout la vulgarisation scientifique, en comparant ce qui s'y fait à ce qui se passe dans nos musées nationaux, quand cette comparaison pourra nous être utile.

I. — Programme

Washington. — *Smithsonian Institution, National Museum.* — James Smithson (1765-1829), fils naturel du Duc de Northumberland, légua toute sa fortune, 120,000 l. st., au gouvernement avec la mission très vague d'en user pour la « diffusion et l'accroissement des connaissances parmi les hommes ». On discuta longtemps sur les moyens pratiques de répondre aux intentions du donateur, et bien des projets se succédèrent, sans aboutir, devant la Chambre et le Sénat américains. Par une heureuse inspiration, on décida, en 1845, de confier la fondation Smithson au *National Institute,* dont la mission et l'organisation rappelaient celles de nos académies des sciences. Il accepta la charge de construire un grand bâtiment, qui devait être un des plus beaux monuments de la capitale de l'État, pour servir de Musée national des Sciences et des Arts. Il devait comprendre huit sections qui se partageraient l'Astronomie, la Géographie et la Météorologie; — l'Histoire naturelle, la Botanique et la Zoologie; — la Géologie et la Minéralogie; — la Chimie; — les applications des Sciences

à l'Industrie; — l'Agriculture; — l'Histoire américaine et les Antiquités; — enfin, les Beaux-Arts.

Des savants et des chercheurs, résidant à Washington, dirigeraient ce Musée et par leurs travaux originaux, leurs publications, leurs conférences et l'organisation même des collections, aideraient le peuple américain à suivre le progrès sous toutes ses formes et dans le monde entier.

La société devait, en outre, fonder une imprimerie pour la publication des travaux des institutions scientifiques nationales et de ceux de savants éminents étrangers.

Enfin, tout ce petit monde, doué d'une organisation autonome et permanente, se trouvait placé sous la protection du gouvernement et, indirectement, sous son contrôle.

On le voit, dans la pensée de ses fondateurs, le Musée national devait être à la fois un foyer intense d'activité intellectuelle, et un puissant instrument de diffusion et de vulgarisation scientifique et artistique : on voulait faire œuvre de progrès et œuvre d'éducation.

Plus tard, la Chimie, l'Agriculture et les Beaux-Arts furent écartés du programme; aujourd'hui, on emploie toutes les ressources à encourager les recherches scientifiques et à y aider; à répandre, par des publications de vulgarisation, les résultats obtenus; à publier des mémoires originaux; à entretenir un musée d'Histoire naturelle, dans le sens le plus large du mot, un jardin zoologique et une bibliothèque; à diriger un observatoire astronomique; à servir d'intermédiaire pour l'échange des publications américaines avec le reste du monde scientifique.

Nous verrons comment ce programme a été réalisé, en ce qui concerne l'Histoire naturelle; et nous en retrouverons l'application dans les autres musées américains, qui ont imité celui de Washington dans la mesure de leurs ressources.

New-York. — Le Musée de New-York a été fondé en 1869, sous le nom de *The American Museum of Natural History*, dans le but de créer et d'entretenir des collections scientifiques et une bibliothèque d'histoire naturelle, pouvant aider au progrès des sciences naturelles et procurer au peuple une instruction à sa portée, à la fois utile et récréative.

Le Musée de New-York est dû à l'initiative privée provoquée par la propagande que fit le professeur Bickmore auprès des millionnaires New-Yorkais.

Au début, on acheta les collections les plus disparates, se rapportant à la zoologie ; on y joignit plus tard la géologie et la minéralogie, mais sans se soucier de réaliser le programme inscrit dans la charte. « Jusqu'en 1877, écrit le Dr Gratacrop, qui a raconté les origines et le développement du Musée de New-York, l'histoire du Musée se résume en une chronique d'acquisitions d'objets variés, d'augmentation et de diminution de revenus, du relevé du nombre des visiteurs. On n'y découvre aucune vue d'ensemble, aucune tendance éducative, aucune recherche originale, aucune participation sérieuse à une œuvre scientifique quelconque. Les installations sont provisoires, et les curateurs emploient la plus grande partie de leur temps à élaborer des projets, à formuler des propositions d'achats, à signaler des desiderata, à préconiser des remèdes; ils emballent et déballent, empaillent et conservent, mais ils n'ont pas de laboratoire, pas de publications, pas de relations ni avec le corps enseignant, ni avec les étudiants, ni avec les chercheurs; leur souci immédiat est de conserver intactes les collections qui leur sont confiées. »

Ce fut en 1889, lors de l'installation du Musée dans des locaux appropriés, qu'on créa un département spécial d'instruction publique. Dès lors le programme s'élargit, le personnel scientifique se met en rapport

avec les institutions d'enseignement primaire et secondaire; les professeurs des universités sont invités à donner des conférences et leur concours ne tarde pas à porter ses fruits. L'œuvre est lancée, et on la veut grandiose.

Le Musée qu'on rêve de réaliser à New-York couvrira 15 acres de terrain, soit un espace trois fois plus grand que celui du British Museum. « Un palais de ces dimensions, dit M. Gratacrop, avec ses salles immenses, remplies de collections classées, est de taille à embrasser tous les règnes de la nature. Toutes les sciences pourront y trouver asile ainsi que les innombrables adaptations industrielles des produits naturels. Le monde entier en sera le fournisseur, la nation en aura la garde, et, dans les meilleures conditions d'utilité publique et d'activité scientifique, ses salles de conférences deviendront la véritable école du peuple. »

Chicago. — Le désir de conserver au public l'immense quantité d'objets concernant les sciences naturelles rassemblés à l'occasion de l'exposition internationale de 1896, a décidé la création à Chicago d'un Musée d'histoire naturelle. La pensée qui a présidé à son organisation et à son développement est encore l'instruction du peuple par les yeux, les conférences illustrées, et tout un système d'exhibition où s'étalent les applications pratiques des sciences naturelles.

Brooklyn. — La société de Brooklyn a choisi pour devise cette parole de Washington : « Il faut promouvoir comme objet d'importance primordiale les institutions qui concourent à étendre et à élever nos connaissances ».

Elle s'appelle *Brooklyn Institute of Arts and Sciences*. Les beaux-arts figurent dans son programme; mais son but principal est l'étude et la vulgarisation des sciences naturelles.

Elle possède un Musée d'histoire naturelle ouvert au public ; un musée scolaire d'histoire naturelle pour les enfants ; une station zoologique pour les instituteurs et professeurs, et une bibliothèque publique.

Pittsburg. — L'Institut Carnegie a été créé également pour l'instruction artistique et scientifique du peuple. Le programme de son musée d'histoire naturelle comprend l'établissement de multiples collections, les unes relatives à l'histoire naturelle et aux produits de la région dont Pittsburg est la métropole ; d'autres illustrant son histoire et sa préhistoire, les arts graphiques, textiles, etc. ; d'autres encore groupent les matériaux employés dans ses diverses industries ; enfin, on y organise des conférences populaires, sur les sciences naturelles, avec la coopération de l'Académie des Sciences et l'aide de savants nationaux ou étrangers.

Albany. — Ce musée est essentiellement régional. Il est fâcheux que ses collections soient éparpillées dans trois bâtiments différents : la Paléontologie, à l'Hôtel de ville, l'Entomologie, la Botanique et l'Ethnologie au parlement de l'État de New-York, le reste au local primitif, où se trouve aussi une bibliothèque publique. Un bâtiment où l'on rassemblerait toutes les collections d'Histoire naturelle est en projet.

C'est là que se centralise le service de la carte géologique, et c'est ce qui explique la grande extension donnée aux collections géologiques et paléontologiques.

Ces brèves indications suffisent à montrer que tous les musées américains d'Histoire naturelle ont un but commun : instruire le grand public, en plaçant sous ses yeux tous les éléments d'une vue d'ensemble de notre planète, de sa constitution, de sa flore, de sa

faune, de ses habitants, de leur histoire et des produits de leur activité. On y donne rendez-vous à tous les règnes de la Nature, on y conserve tous les objets que l'homme a fabriqués ou utilisés. Un seul de ces musées a un caractère régional. Les idées qui président à leur aménagement et à leur développement sont donc en opposition avec celles qu'on applique dans notre pays.

Chez nous l'exposition des collections régionales forme le noyau du musée. Les collections relatives aux autres parties de la terre n'y sont entreprises que dans la mesure où elles sont nécessaires à l'intelligence des collections nationales. Il en est ainsi au Musée de Bruxelles. Certes, tout ce qui touche au pays doit former un groupe à part, mais le programme de notre Musée national ne devrait-il pas s'élargir et s'étendre en proportion de l'importance économique de la Belgique dans le monde civilisé? Ce n'est pas au moment où tout le monde parle d'expansion coloniale, qu'il convient de restreindre le champ de notre action scientifique aux limites de notre petit pays. Le but d'un musée d'État est de vulgariser la science et d'aider les travailleurs à concourir à son progrès, en suppléant à l'insuffisance des éléments locaux par l'achat et l'exposition des éléments étrangers indispensables à la compréhension de la science. Nos nationaux sont partout, nous aurons demain peut-être une colonie, sous un ciel différent du nôtre; nos officiers, nos missionnaires, nos commerçants rapportent de leurs expéditions des objets d'Histoire naturelle variés et nombreux dont nous ne tirons pas le meilleur parti. Sans doute, la Belgique possède des naturalistes compétents, mais nos collections de comparaison sont absolument insuffisantes. L'étude de la flore et de la faune du Congo le démontre d'une façon péremptoire : nos naturalistes ne peuvent entreprendre seuls la publication de leurs recherches, faute de matériaux de comparaison, et ils en sont réduits à partager le fruit de leur labeur avec des collègues de Londres

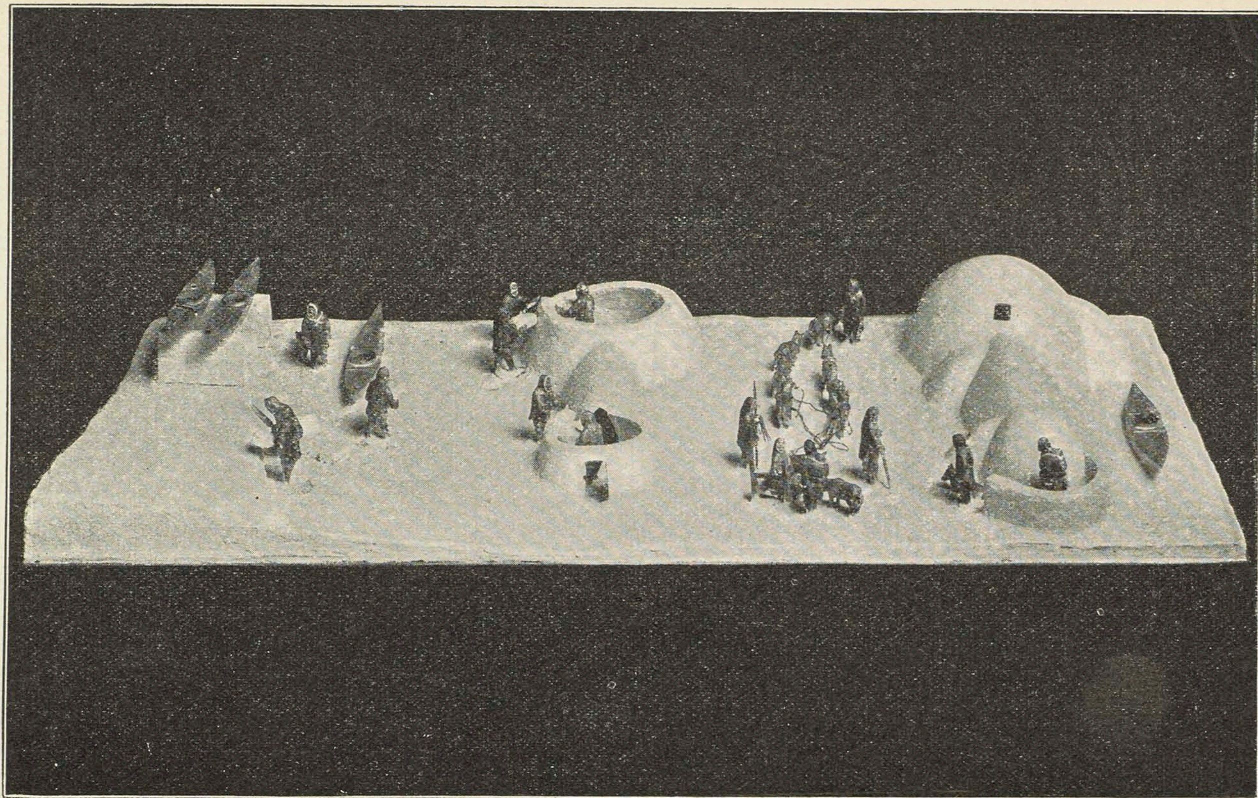
ou de Berlin. L'exploration de la mer, que l'on poursuit actuellement sur nos côtes, le démontre mieux encore ; la plupart des animaux recueillis doivent être déterminés en Angleterre. Bref, notre Musée rappelle la description que le D[r] Gratacrop donnait de celui de New-York, en 1877. Il serait temps d'y poursuivre un programme plus largement conçu et plus nettement tracé, où les intérêts de la science pure et ceux de l'instruction populaire fussent à la fois sauvegardés.

II. — Administration

Washington. — L'administration scientifique du Musée national est confiée à un Chancelier ; il a sous ses ordres un secrétaire-assistant, qui est en réalité le Directeur effectif. Longtemps, les diverses sections restèrent indépendantes ; la simplification des rapports administratifs les a fait grouper en trois départements : L'Anthropologie, la Biologie et la Géologie.

Le Département de l'*Anthropologie* comprend les huit divisions suivantes : l'Ethnologie, l'Archéologie historique, l'Archéologie préhistorique, la Technologie, les Arts graphiques, la Médecine, les Religions, l'Histoire et la Géographie. Son personnel scientifique compte deux curateurs honoraires, huit curateurs en charge, deux assistants et cinq collaborateurs.

Le Département de la *Biologie* comprend neuf divisions : Les mammifères, les oiseaux, les reptiles et les batraciens, les poissons, les mollusques, les insectes, les invertébrés marins, l'Anatomie comparée et la Botanique. La division des insectes comprend elle-même cinq sections s'occupant des hyménoptères, des myriapodes, des diptères, des coléoptères et des lépidoptères. Notons aussi une section d'Helminthologie particulièrement intéressante. Le personnel scientifique

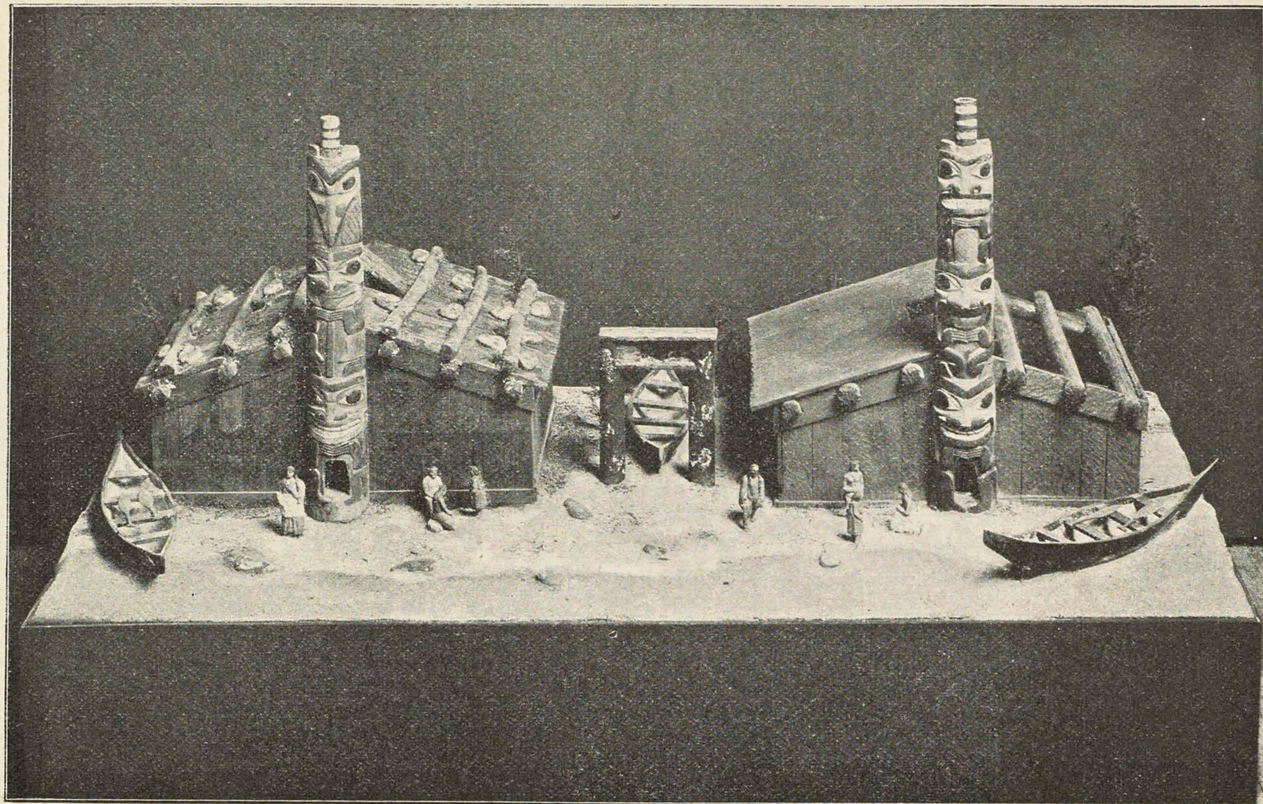


ESQUIMAUX DE L'OUEST (WASHINGTON)

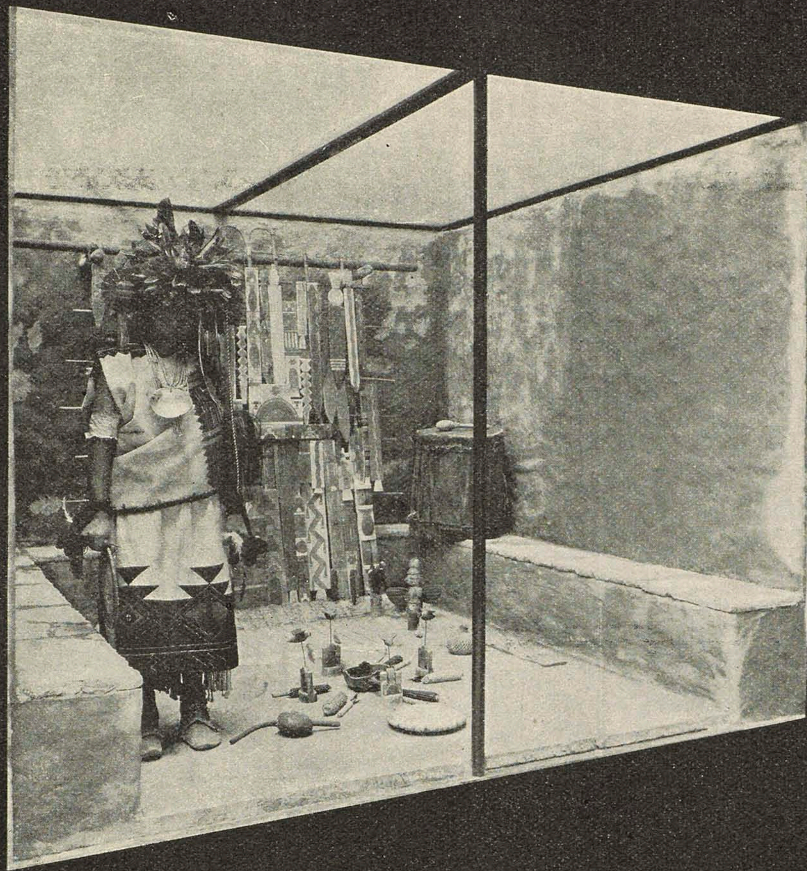
PLANCHE II



GROUPE D'ESQUIMAUX DE L'OUEST (WASHINGTON)



INDIENS HAÏDAS (WASHINGTON)



Prêtresse Oraïbi devant son autel (Chicago)

se compose de vingt curateurs et gardiens, et de onze assistants.

Le Département de la *Géologie* comprend trois divisions : La Géologie physique et chimique, systématique et appliquée; la Minéralogie et la Paléontologie stratigraphique divisée en trois sections : les vertébrés fossiles, les invertébrés fossiles et la Paléobotanique. Sept curateurs et six associés curateurs sont attachés à ce département.

Le personnel scientifique du Musée comprend donc, au total, soixante-trois personnes, dont vingt-six seulement sont rétribuées par l'État pour les services qu'elles rendent à l'institution; les autres sont, pour la plupart, des fonctionnaires des divers départements du gouvernement de Washington, appartenant à l'Agriculture, à la Marine ou à la commission des Pêcheries, etc. Le secrétaire assistant a peu de sympathie pour ce mode de recrutement du personnel : on ne peut exiger de collaborateurs volontaires ce qu'on requiert de salariés; il préférerait être à la tête d'agents spéciaux dont il pourrait réclamer un travail régulier. Aussi tente-t-on progressivement à remplacer les collaborateurs volontaires, en leur donnant des assistants qui prennent la place des titulaires à leur mort ou quand sonne pour eux l'heure de la retraite.

Tous les membres du personnel scientifique sont des zoologistes de carrière et la plupart docteurs en sciences naturelles. Le conservateur chargé de l'Helminthologie est vétérinaire et docteur en sciences. Beaucoup ont professé dans les universités comme fellows ou associés.

Les places vacantes sont mises au concours. Un avis est expédié à toutes les universités pour y être affiché; il indique les connaissances requises et les conditions nécessaires pour être admis à concourir. L'épreuve a lieu à Washington sous la surveillance d'un comité spécial formé de professeurs d'université et de membres

du Musée. On attache une grande importance aux publications des concurrents et au stage qu'ils ont fait dans les laboratoires universitaires.

Le Directeur et le conservateur intéressé ont le choix entre les deux premiers vainqueurs.

Nous ne parlerons pas des employés d'administration : le chef clerk, l'inspecteur des bâtiments, l'archiviste, un commis aux écritures, un caissier, deux bibliothécaires et un éditeur, et nous nous bornerons à signaler toute une armée de préparateurs, taxidermistes, peintres, etc.

Albany. — Le personnel scientifique comprend ici un Directeur, qui est géologue, un paléontologue, un entomologiste et un botaniste. Chacun d'eux a un assistant et six aides, tous gradués des universités. En été, un plus grand nombre de gradués, professeurs et spécialistes sont employés comme assistants, pour le service de la carte géologique.

New-York. — Le personnel scientifique du Musée de New-York n'est pas aussi nombreux que celui de Washington, mais il le deviendra dans un avenir prochain. Pour le moment le Musée est dirigé par un président et deux vice-présidents qui ne sont pas des hommes de science ; ils sont aidés par un assistant du président qui est le directeur effectif. On le choisit parmi le personnel scientifique du Musée, et il peut être changé tous les ans. Au moment de notre visite, l'assistant du président était M. Osborn, professeur de zoologie à l'université Colombia de New-York ; il était en même temps curateur du département de Paléontologie. L'année suivante la place fut dévolue à M. Bumpus, ancien professeur associé à l'université et administrateur de la station zoologique de Wood's Holl.

L'administration du Musée comprend six départe-

ments : celui de l'Instruction publique, avec un curateur; celui de la Géologie, comprenant la Minéralogie, la Conchyliologie, et les invertébrés marins, dirigé par un curateur et deux assistants; celui de la Zoologie (vertébrés) avec un curateur et un assistant pour l'Ornithologie ; la Paléontologie des vertébrés, avec un curateur et deux assistants; l'Anthropologie, avec un curateur et deux assistants, et l'Entomologie, avec un curateur. Deux bibliothécaires, un inspecteur des bâtiments et une foule d'employés subalternes formant un total de soixante et onze employés, dont quatorze hommes de service.

Chicago. — Le Musée est divisé en cinq départements comprenant l'Anthropologie, la Botanique, la Géologie, la Zoologie et l'Ornithologie; ils sont administrés par un Directeur, cinq curateurs titulaires et six assistants formant le personnel scientifique. Leurs aides sont nombreux. Nous signalerons en Anthropologie, un curateur, deux assistants, deux modeleurs, un préparateur anatomique, un secrétaire et deux ethnologistes; en Botanique et en Géologie, un curateur, un assistant et un préparateur; en Zoologie, un curateur, un assistant, un taxidermiste, un tanneur, un préparateur, un ostéologiste et un secrétaire. Si l'on y ajoute le personnel subalterne, on compte soixante-dix personnes employées au Musée.

L'organisation administrative diffère donc dans ces divers musées; mais elle se rapproche partout de celle du Musée national de Washington. C'est, à notre avis, la plus rationnelle. Un chancelier est à la tête de l'établissement pour la facilité des rapports avec le pouvoir exécutif. C'est un homme de science, mais il n'a pas la direction effective de la partie scientifique de toute l'institution. Personne ne peut prétendre à l'omniscience, ni à l'omnicompétence. Si le chancelier est

astronome, il s'occupe des choses du ciel et se décharge pour le reste sur les trois chefs de service qui sont placés à la tête des trois grands départements, l'Anthropologie, la Zoologie et la Géologie. Il prend alternativement l'un des chefs de service comme secrétaire, en sorte que chacun d'eux, et à tour de rôle, peut exposer, dans les rapports fréquents qu'il a avec le chancelier, tous les desiderata de son département. C'est grâce à ce roulement qu'on ne constate pas à Washington ce défaut fréquent dans les musées : la prédominance de certaines sections aux dépens des autres. A Bruxelles, par exemple, la Paléontologie a absorbé près de la moitié du capital employé.

Il faut louer aussi le mode de recrutement du personnel. On ne devrait ouvrir nos musées qu'à des hommes qui se font une carrière scientifique dans la branche de leur spécialité. On admet trop facilement, dans nos institutions officielles, ceux qui se sont découvert sur le tard, et parfois faute de mieux, une vocation scientifique. Aux États-Unis, tous ont fait des études universitaires, ou professé dans des établissements d'instruction.

On aura remarqué aussi l'abondance du personnel scientifique. Notre Musée national devrait augmenter le sien en même temps qu'il élargirait son programme. Une section d'Anthropologie devrait être créée, et l'on devrait donner des assistants aux conservateurs qui prépareraient ainsi des naturalistes capables de leur succéder. On cherche des débouchés pour nos gradués des universités, en voici un tout trouvé. Au lieu de payer largement les spécialistes étrangers que l'on fait venir pour étudier nos collections nationales, et qui nous apportent, je le veux bien, le secours de leurs lumières, choisissons des jeunes gens d'espérance, formons-les, envoyons-les se perfectionner et se spécialiser à l'étranger, ils donneront un personnel d'élite dont le

recrutement sera facile. Sans doute l'étude scientifique des matériaux recueillis pourrait en être retardée, mais le mal serait-il si grand? Les matériaux qu'on a exploités dans ces derniers temps étaient enfouis depuis un quart de siècle dans les caves du Musée; y aurait-il un si grave inconvénient à ce qu'ils y restent encore quelques années, jusqu'au jour où ils pourront être étudiés par des Belges?

Une autre réforme désirable est celle du règlement organique de notre Musée. Il est aujourd'hui ce qu'il était en 1869, à l'époque où le Musée n'était qu'un simple cabinet de curiosités, où l'on accumulait tous les objets d'histoire naturelle. Aux termes de ce règlement, c'est le Directeur qui est spécialement chargé de la classification scientifique et de la conservation des objets d'histoire naturelle : c'est à lui qu'incombent la composition et la tenue à jour des inventaires et des catalogues; c'est lui encore qui prend soin des achats et des échanges. Pareil règlement se concevait au début, il y a quarante ans; mais aujourd'hui on se demande ce qu'il reste à faire aux conservateurs et aux assistants adjoints au Directeur, si lui-même assume tout ce travail. Il est vrai qu'un règlement d'ordre intérieur définit la besogne de chacun et divise le Musée en sections, avec titulaires déterminés. Mais ce règlement n'est pas appliqué, sous prétexte qu'il contredit le règlement organique, qui seul, pratiquement, fait loi.

III. — Collections anthropologiques

Washington. — Le département d'Anthropologie s'est donné pour mission de représenter et d'exposer tout ce qui touche à la science de l'homme dans le sens le plus étendu du mot. Cette section est un monde où sont représentées toutes les civilisations qui se sont

succédé et qui s'épanouissent dans les diverses régions du globe. Arrêtons-nous surtout à la manière dont tout cela est présenté au public (Planches I, II, III et VI).

Il ne faut pas, écrit M. Holmes, le curateur en chef de ce département, que les objets figurent simplement au Musée et que le public puisse les voir. Ainsi compris un musée n'est qu'un grenier ou un magasin. Mais il faut qu'ils donnent aux visiteurs une représentation en raccourci, et aussi exacte que possible, de l'histoire humaine.

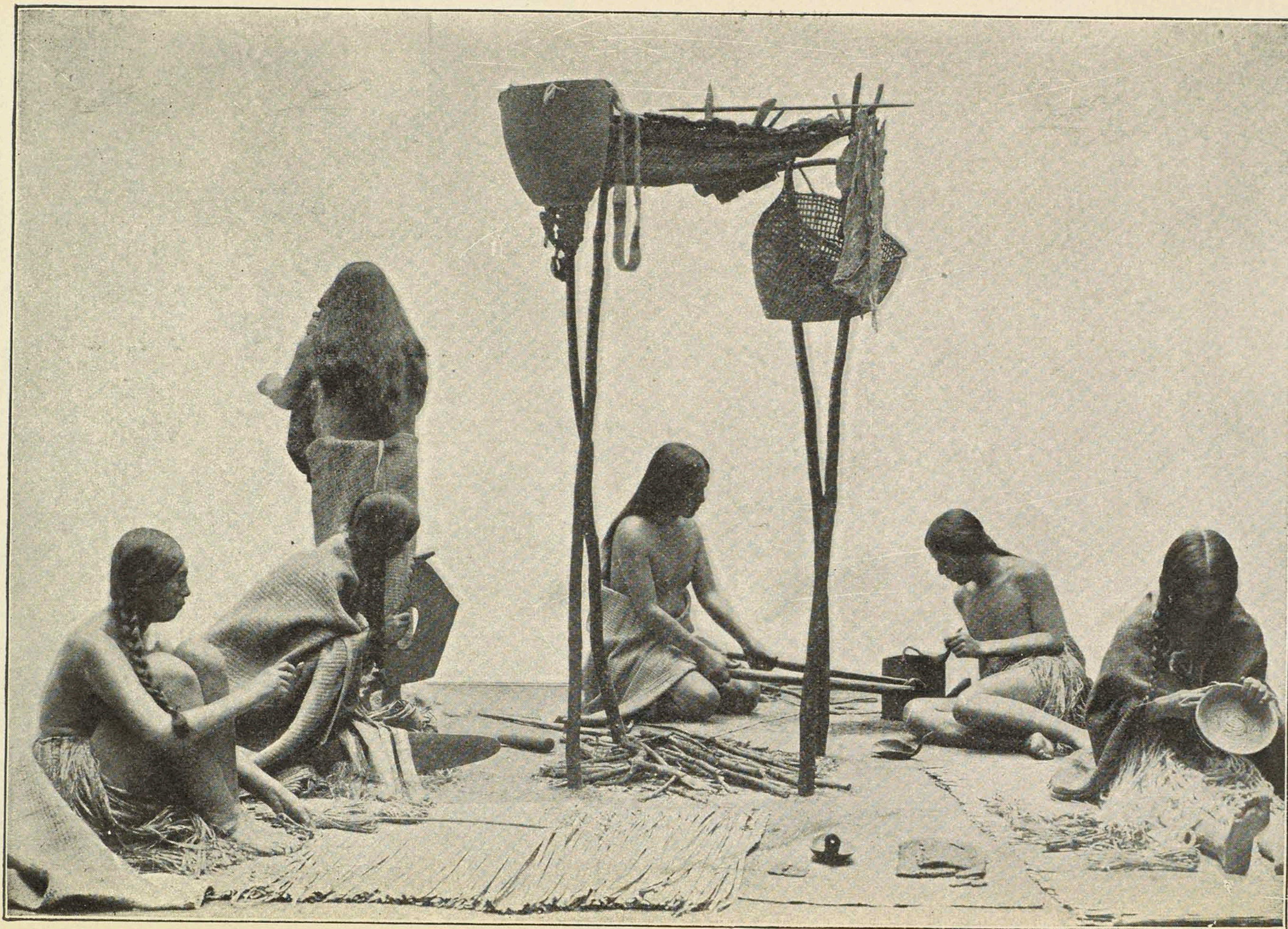
On a réalisé cette mise en scène sous différents points de vue : les groupements sont géographiques et ethnographiques, génétiques et comparés.

L'Ethnographie comprend quatre grandes salles; trois sont réservées à l'Amérique, la quatrième aux autres contrées.

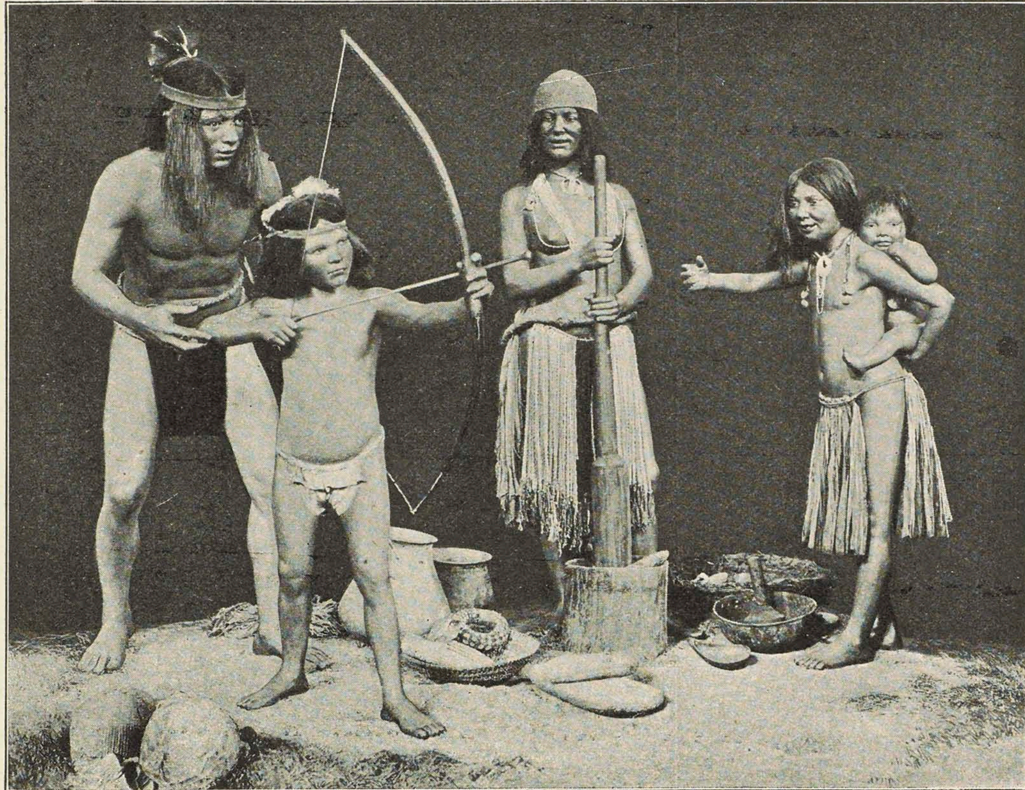
Le long des murs s'étale une galerie de portraits peints à l'huile par Catlin, qui vécut pendant vingt-cinq ans parmi les Indiens de toutes les tribus, et qui fixent les traits de races et de types aujourd'hui presque entièrement disparus.

Dans la salle une série d'armoires vitrées renferment des groupes admirablement modelés de diverses tribus, ici dans leur costume ordinaire, là armés en guerre, plus loin se livrant à leurs occupations journalières, aux travaux domestiques, à la chasse, à la pêche, etc. Les scènes suivantes ont spécialement attiré notre attention : La manière de faire le feu, un chœur de danseurs, une théorie de prêtresses, une famille d'esquimaux capturant un phoque, des attelages de chiens esquimaux, une femme broyant le blé dans un mortier, une autre tannant une peau, une femme Papoue modelant une poterie, un bijoutier indien, etc.

Dans les armoires qui garnissent les parois de la salle, s'étalent des collections d'armes, d'ustensiles de ménage, d'instruments de travail, de poteries, etc.



FAMILLE D'INDIENS (CHICAGO)



GROUPE FAMILIAL D'INDIENS KOKOPAS (WASHINGTON)

Plus loin, ce sont d'innombrables moulages en terre cuite montrant tous les aspects que revêtent les habitations des peuplades de l'Amérique du Nord, de l'Arizona, du Nouveau Mexique, de l'Amérique australe et du Mexique; une salle voisine nous offre les mêmes reproductions d'habitations de l'Europe, de l'Afrique, de l'Asie, de l'Australie.

Passant à un autre ordre d'idées, on a représenté le développement, depuis les origines jusqu'à nos jours, des arts principaux et des industries qui se partagent l'activité humaine. Je note au hasard, en indiquant le nombre de séries pour chaque objet : le feu (1), la chasse (1), la pêche (2), l'agriculture (2), les armes (6), instruments divers (8), l'art culinaire (4), l'éclairage (3), le bâtiment (1), la verrerie (1), l'art de l'émailleur (1), la métallurgie (4), la sculpture (4), les arts graphiques (4), les arts mécaniques (3), la musique (4), la médecine (1), la photographie (3), les tissus (3), le costume (2), la céramique (3), l'industrie des transports (10), l'électricité (8).

Chaque série n'est pas isolée, étrangère aux autres, mais marque un pas important dans le progrès accompli; chaque objet a sa légende explicative détaillée.

Comme médecin, je me suis particulièrement intéressé à la série médicale, et je choisirai celle-là pour entrer dans quelques détails, et donner une idée de la classification adoptée par le Dr Flint, le curateur de cette section.

La médecine magique est représentée par les invocations et les incantations, les amulettes, les talismans et les fétiches. La médecine psychique par l'imposition des mains, la suggestion, l'hypnotisme. La médecine physique, ou médecine externe, nous montre les bains, le massage, les exercices corporels, l'électrothérapie; la chirurgie, l'acuponcture, la cautérisation, la saignée, les opérations chirurgicales en général. La médecine

physiologique, ou médecine interne, nous offre ses drogues, avec leur emploi dans la médecine égyptienne, grecque, hindoue, arabe, orientale, indienne et moderne. La médecine préventive, l'hygiène, nous renseigne sur l'eau, l'air, les aliments solides et liquides, les condiments, le sol, l'habitation, l'habillement, le climat, sans oublier la toilette des morts et la désinfection.

Il est regrettable que les collections qui forment ce département soient distribuées au milieu d'autres, sans rapport avec elles, mais des agrandissements projetés au moment de notre visite permettront de les présenter au public dans leur ordre naturel.

Nous ne pouvons dresser ici l'inventaire de ces multiples collections. Nous nous bornerons à indiquer, à titre d'exemple, le nombre des objets qui figurent dans quelques-unes d'entre elles. L'Ethnologie comprend 451 555 spécimens, l'Archéologie historique 1872, la Préhistoire 276 540, la Technologie 30 421, les Arts graphiques 7234, la Médecine 7000, les Religions 1858, l'Histoire et la Géographie 36 156.

New-York. — Le Musée de New-York poursuit le même but que celui de Washington, mais il en est à ses débuts. Aussi ses collections anthropologiques sont-elles beaucoup moins nombreuses et moins complètes.

L'Ethnographie de l'Amérique du Nord y est bien représentée, surtout l'archéologie préhistorique et précolombienne et la civilisation aztèque. On aura une idée de l'activité déployée dans ce département, si nous disons qu'il y est entré, l'année de notre visite, 9876 spécimens qui tous ont été catalogués, et 5219 clichés photographiques. Les efforts se portent surtout, pour le moment, vers l'étude des populations indigènes de l'Amérique du Nord, Indiens et Esquimaux, et sur les races disparues de l'Amérique Centrale.

Chicago. — Le département de l'Anthropologie, à Chicago, suit à peu près le programme du Musée national de Washington, mais en le réalisant dans un cadre plus restreint. Les collections tendent surtout à illustrer la vie primitive des races humaines civilisées ou sauvages (Planches IV, V).

L'exposition est divisée en deux grandes sections. Dans la première, on envisage la constitution physique de l'homme et ses facultés, les caractères de la race et de l'individu. C'est là que l'on trouve les appareils servant à l'étude des variations physiques du corps humaïn, crâne, squelette, etc., bref, tout ce qui touche à l'*Anthropologie physique*. Dans aucun des musées que j'ai visités, je n'ai vu une exposition plus complète que celle-ci. Le laboratoire est muni de tous les appareils anthropométriques introduits par Bertillon, au service anthropométrique de Paris, pour la mensuration des diverses parties du corps, la taille, les dimensions du tronc, celles des membres, du crâne, les angles faciaux, frontaux, etc. Les collections remplissent dix-neuf vitrines; j'en note quelques-unes des plus intéressantes.

Un grand tableau donne l'explication détaillée de tous les termes employés en craniologie; des séries de spécimens indiquent les variations du squelette humain suivant le sexe, celles des sutures des os du crâne, celles des os de la face, des os frontaux et nasaux; celles des sutures intermaxillaires, des processus mastoïdiens, des palatins, leur direction et leur mode d'union; les divers degrés de prognathisme, les variations de la mâchoire inférieure, du canal lacrymal, des condyles, des occipitaux, de la clavicule, de l'omoplate, de la dentition, du bassin, des membres inférieurs et supérieurs.

Vient ensuite une vitrine spéciale de squelettes pathologiques ou artificiellement déformés ou trépanés; une collection de squelettes anormaux; une série de modèles illustrant la forme du cerveau et ses rapports avec le

crâne; une autre montrant l'aspect de la cavité crânienne des diverses races humaines et des vertébrés supérieurs.

L'exposition se poursuit par la comparaison du squelette de l'homme avec ceux des grands anthropomorphes, etc.

Sans prétendre épuiser cette nomenclature, signalons encore la vitrine où sont les composés chimiques qui entrent dans la constitution du corps humain; et une autre contenant le moulage de la tête des diverses races humaines.

La seconde section est réservée aux produits de l'activité humaine et aux progrès de la civilisation.

Les objets préhistoriques, assemblés en groupes locaux, marquent chacune des étapes de la marche vers la civilisation actuelle. C'est, en somme, le programme poursuivi à Washington, mais ici une idée maîtresse domine toute sa réalisation. Les types sont représentés, autant que possible, de façon à permettre de les étudier et de les comparer entre eux dans la manière dont ils se sont adaptés au milieu ambiant et ont mis à profit les ressources animales, végétales, minérales que la nature leur offrait, les conditions du climat et leur situation géographique.

Toutefois on n'a pas négligé certaines expositions plus spéciales, concernant un ordre de faits particuliers, ou un art isolé, la Musique, par exemple. L'archéologie européenne, américaine et égyptienne occupe deux grands halls vitrés, l'ethnographie est distribuée dans les salles adjacentes. Il y en a une pour l'Océanie, une pour l'Asie, une pour l'Afrique, deux pour les Esquimaux, deux pour la côte nord du Pacifique (Alaska), une pour l'Amérique centrale, une pour l'Amérique du Sud. L'énumération des richesses qu'elles renferment serait fastidieuse. C'est partout l'activité humaine représentée à l'œuvre : groupes d'Indiens vaquant aux

travaux domestiques; familles d'Esquimaux, avec leurs chiens et leurs traîneaux; en voici en bateau, en voici à la pêche, etc.; harpons, armes, ustensiles, métiers, tout y figure, et tout y parle à l'imagination.

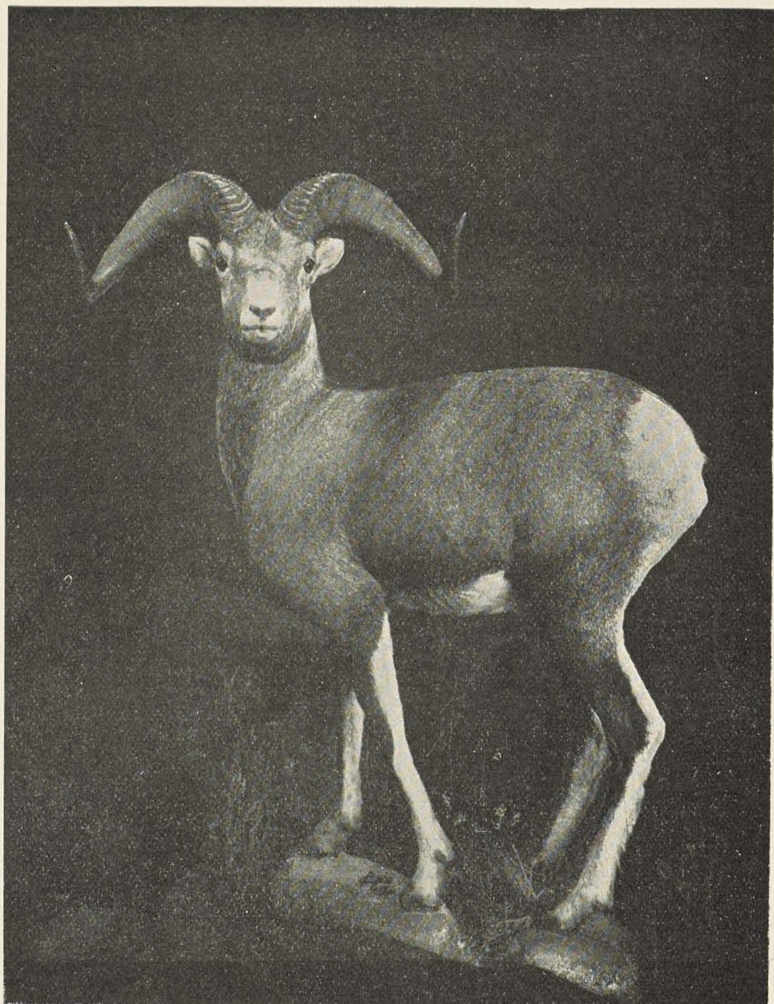
Pittsburg. — Les collections de Pittsburg, à peine commencées, sont déjà très importantes et très intéressantes. Les ateliers de moulage y sont en pleine activité, et de nombreux groupes du genre de ceux dont nous venons de parler ornent déjà les vitrines. Citons en particulier une belle série de têtes moulées et colorées, de diverses tribus de Peaux-Rouges, avec leurs tatouages singuliers.

On le voit, l'ampleur du programme adopté par les savants de Washington donne à ces expositions une allure encyclopédique. On s'étonne à première vue qu'on ait osé tenter de mettre assez d'ordre dans cette immense variété d'objets pour que le public ne s'y perde pas; mais on admire surtout qu'on y ait réussi. Le choix judicieux des objets marque nettement chacune des étapes parcourues par l'humanité au cours des siècles, dans la voie du progrès; la manière très ingénieuse et très parlante de les présenter, les explications concises et claires qui les accompagnent, concourent au but et en assurent le succès. L'ouvrier, l'industriel, l'artiste trouvent là, réuni en une sorte de galerie historique, ce qui les intéresse le plus : les origines, les progrès de leur art ou de leur industrie, les moyens mis en œuvre par leurs devanciers et leurs contemporains, pour triompher de difficultés qui sont la préoccupation et le souci de leur existence. Tout cela les captive et tout cela les instruit, car tout cela leur ouvre des idées, leur fournit des éléments de progrès par des comparaisons rendues faciles, et les aide à retrouver des formes disparues qu'ils ignoraient et qu'ils pourront imiter ou faire revivre.

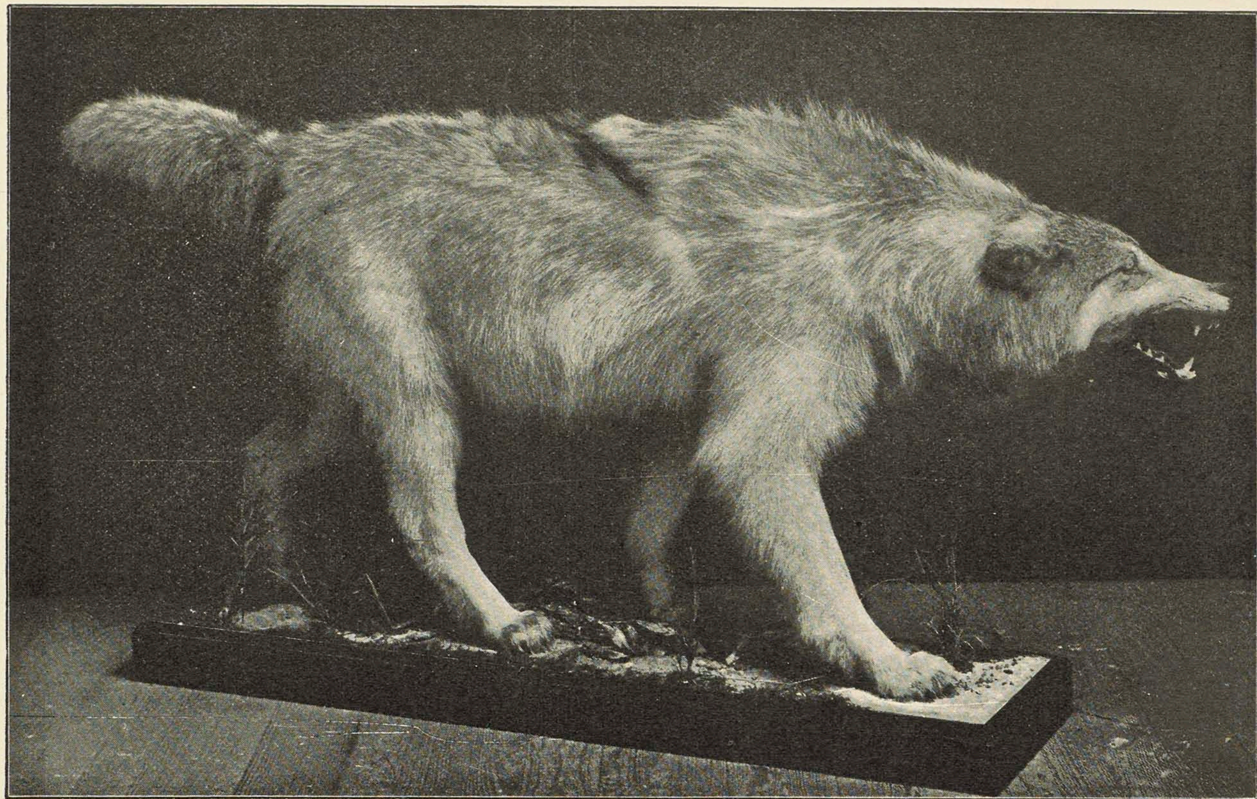
Les recherches anthropologiques, la préhistoire surtout, sont en honneur en Belgique ; malheureusement, les objets recueillis — et ils sont nombreux — sont très éparpillés. On trouve au Musée d'Histoire naturelle de Bruxelles, les objets recueillis dans les cavernes des bords de la Meuse, d'autres figurent au Musée du Cinquantenaire dans les collections destinées à illustrer les Arts décoratifs. Parmi les musées provinciaux, celui de Namur surtout présente le plus grand intérêt. Les universités ont aussi leurs musées, celui de Liége notamment renferme de vraies richesses, et combien de collectionneurs se sont créé un musée privé souvent bien curieux. Ce serait une utopie sans doute de songer à réunir, dans un même local, tous ces objets afin de donner au public belge une vue d'ensemble et systématique de nos connaissances en préhistoire nationale : les collections resteraient à leurs propriétaires, ils les prêteraient pour concourir à la création d'une exposition rationnelle, qui serait certes du plus haut intérêt. Mais pour ne pas pouvoir aller jusque-là, faut-il renoncer à rien entreprendre ?

A part la Préhistoire, tout est à créer en Belgique, au point de vue anthropologique. Nous avons bien à Tervueren un noyau de collection ethnographique, mais on n'y a rien ajouté depuis sa création, lors de l'exposition de Bruxelles. Quant au Musée d'Histoire naturelle, sauf quelques squelettes trouvés dans les cavernes, il ne contient rien, en ce genre, ou bien peu de chose. L'Homme est à peine représenté dans notre Musée national. Vous y chercheriez en vain quelque objet pour vous renseigner sur son anatomie, son développement physique ; moins encore sur les races humaines. Pareille lacune est éminemment regrettable. Un musée d'État devrait posséder au moins une section d'Anthropologie physique, et le Musée de Chicago pourrait servir de modèle à son installation.

PLANCHE VII



Chamois Américain (Washington)



LOUP DE L'ALASKA (WASHINGTON)

IV. — Collections zoologiques

Mammifères

Washington. — La collection systématique générale n'est pas exposée; nous en parlerons plus loin. Nous nous occuperons d'abord des collections présentées au public.

Ce qui attire tout d'abord le regard, ce sont les groupes, où l'on a réuni toute une famille dans d'immenses vitrines : le mâle, la femelle, les petits, montés et disposés dans les attitudes les plus naturelles. Ce sont, pour la plupart, des animaux du pays, on y a joint quelques types seulement des représentants les plus grands et les plus connus des faunes continentales.

La valeur de la préparation taxidermique est très variable, on pourrait suivre les progrès réalisés en comparant les vieux exemplaires aux derniers montés.

Chaque espèce représentée porte une étiquette explicative donnant les détails essentiels sur la vie, les mœurs et l'habitat de l'espèce.

Sur 21 983 spécimens que renferme le Musée national de Washington, on n'en a monté de la sorte que quelques centaines seulement (Planches VII et VIII).

New-York. — Même distribution et même système d'exposition. Plusieurs groupes sont vraiment superbes. Les bisons à la pâture, les élans sous bois, les rats musqués, avec leur nid visible dans une coupe du talus où il a été creusé, deux d'entre eux nageant au milieu de nénuphars; une loutre sous un tronc d'arbre jeté sur un ruisseau, etc. La collection des Cheiroptères, avec leurs ailes largement déployées, et collées sur des vitres au moyen de résine transparente, est des plus intéressantes. Nous admirons aussi les otaries groupés

dans des attitudes superbes de naturel. Avant de les monter, les taxidermistes du Musée ont été étudier les mœurs de l'animal sur les côtes du Pacifique.

Chicago. — L'exposition des mammifères y est réduite aussi aux types principaux. Des groupes nombreux et admirablement réussis, appartenant pour la plupart à la faune africaine, ont été formés des dépouilles rapportées par l'expédition du professeur Elliot au pays des Somalis. Ce sont, avec d'autres du même Musée, les plus beaux et les mieux conçus que j'aie vus au cours de mon voyage. Je signalerai en particulier, une famille nombreuse de bœufs musqués, des troupeaux d'antilopes, de gazelles, avec les oiseaux qui sont leurs familiers, des phacochères, une famille d'ours blancs, un paysage d'hiver encadrant des mammifères et des oiseaux, et montrant les variations du pelage et du plumage, sous l'influence du milieu : tout est blanc ou en train de le devenir.

Philadelphie. — Nous retrouvons ici le type et l'aspect de nos musées européens. Les collections de zoologie systématique générale y sont exposées ; elles sont vieilles et mal conservées ; leur montage, surtout celui des spécimens anciens, est tout à fait défectueux. Aucun groupe au moment de notre visite. Ce n'est que depuis peu qu'on a restreint le nombre des animaux montés pour l'exposition permanente ; tous les spécimens que l'on reçoit maintenant sont conservés, sans être montés, dans des armoires *ad hoc*, dont l'usage s'est généralisé en Amérique et dont nous parlerons à propos des collections de systématique générale.

Pittsburg et Brooklyn. — On n'y expose jusque maintenant que la faune locale, et quelques grands spécimens, éléphants, hippopotames, chameaux, etc.,

dont la conservation de la peau nécessiterait une armoire presque aussi grande que la vitrine où ces animaux sont exposés.

Albany. — Ce musée possède une belle collection des diverses races d'animaux domestiques.

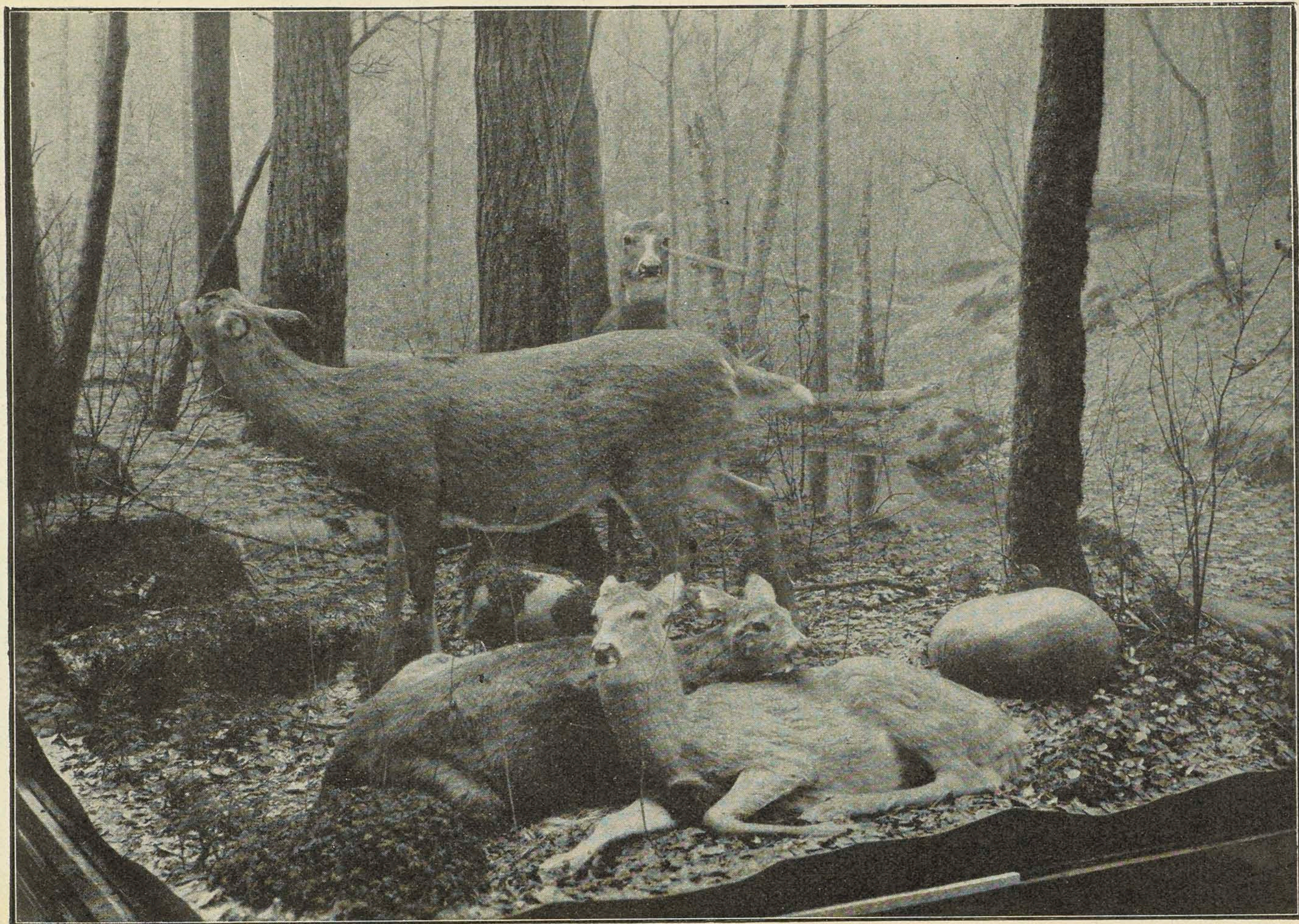
Nous n'avons pas de données suffisantes pour évaluer les sommes dépensées, au cours de ces dernières années surtout, pour l'acquisition de mammifères, dans ces différents musées. On en peut juger approximativement par ce renseignement puisé dans les rapports officiels. En une seule année, le Musée de Washington a reçu 5762 peaux de mammifères, celui de Pittsburg 1050, celui de New-York 1096 et celui de Chicago 2609.

Ce que l'on admire surtout dans la plupart de ces musées, et dans celui de Chicago en particulier, c'est l'art merveilleux qui a présidé à la formation des groupes, au choix des attitudes, à l'expression intense de vie et de mouvement, à la disposition du décor qui achève de donner l'illusion de la réalité. A chaque pas, le visiteur a sous les yeux le tableau complet de la vie et des mœurs de l'animal qu'on lui présente. Le mâle, la femelle, les petits y figurent dans des attitudes caractéristiques. Le mâle fièrement campé, confiant dans sa force, domine de sa taille plus élevée le troupeau dont il a la garde. La femelle, le cou tendu, l'oreille au guet, paraît craintive et anxieuse. Les petits, insouciants, dorment, broutent, folâtrent, au milieu des plantes qui sont leur pâture habituelle, et entourés d'autres animaux, des oiseaux surtout, leurs familiers ou leurs commensaux.

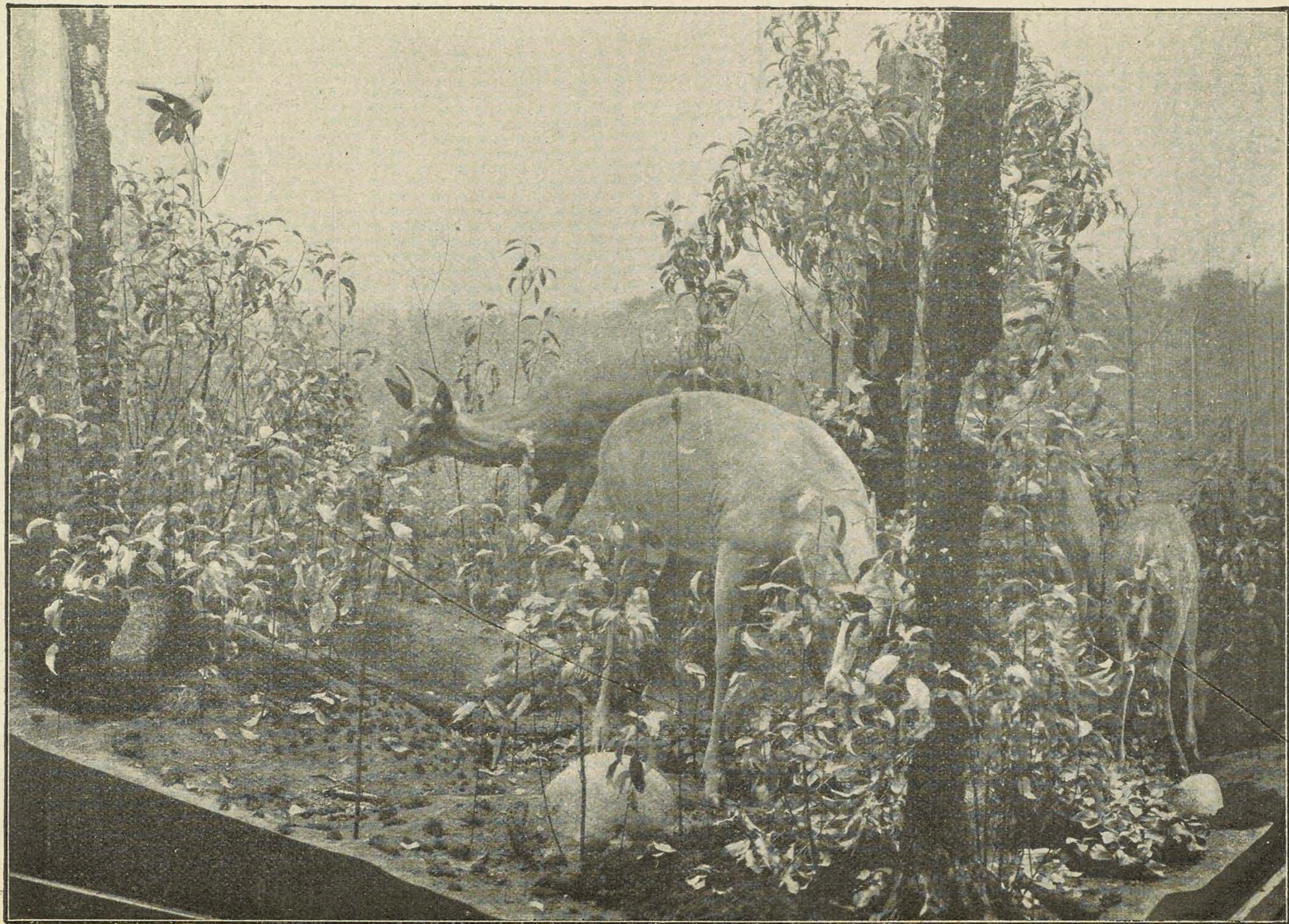
Parfois, ces scènes bien vivantes s'enchaînent et déroulent l'histoire entière d'une espèce animale. Nous avons admiré celles qui montrent le cerf à ses différents âges et au cours des quatre saisons (Planches IX, X, XI et XII). Au printemps, la fusion de la neige a

rempli d'eau les fondrières, le troupeau broute l'herbe rare et maigre, que la gelée a respectée. Le mâle a perdu ses bois, le troupeau porte encore le manteau à longs poils qu'il a revêtu pour l'hiver. Voici l'été : la fourrure d'hiver a fait place à l'habit des jours chauds, aux poils courts. Ils recherchent l'abri des taillis, et c'est par groupes de deux qu'on les y rencontre. A l'automne, la famille est complète ; le mâle est superbe, ses bois ont repoussé et ont presque atteint leur plein développement, la peau est lisse et le poil ras. La biche et le faon sont merveilleux de souplesse, de grâce et de timidité, c'est dans les fourrés épais qu'ils vivent ensemble, dans l'abondance et la solitude. Enfin l'hiver est là : la bande erre sous les hautes futaies, le bois est désert et la neige couvre le sol. Le cerf adulte étale sa ramure dans toute sa splendeur. Le pelage est touffu et long. Ils sont en quête de nourriture ; elle se fait rare, et ils sont réduits à racler les lichens qui recouvrent les vieux troncs. Des mésanges les suivent pour se nourrir des insectes parasites (melophages) qui habitent la toison des cervidés.

Chacun de ces tableaux est une scène vécue, où l'on ne sait ce qu'il faut le plus admirer, de la sagacité des observations qu'elle suppose ou de la perfection de l'art qui les a mises en œuvre. Ils donnent au visiteur l'illusion de la forêt et de la vie qu'elle recèle et lui laissent une profonde impression. On chercherait en vain, dans nos musées, quelque chose qui rappelle, même de très loin, pareille exposition. Chez nous la vie est absente ; là elle déborde. Même quand on ne possède qu'un seul spécimen on le place toujours dans son milieu, on reproduit son attitude caractéristique, on le fait vivre. Voyez le loup de l'Alaska que reproduit la planche VIII. Sa pose est merveilleuse de naturel, et avec quel soin il faut avoir observé l'animal en liberté pour pouvoir rendre, aussi parfaitement, le rictus méchant de la gueule et le hérissement des poils !



Famille de Cerfs au Printemps (Chicago)



FAMILLE DE CERFS EN ÉTÉ (CHICAGO)



Famille de Cerfs en Automne (Chicago)



Famille de Cerfs en Hiver (Chicago)

L'art consommé des taxidermistes de Chicago a vivement piqué ma curiosité : j'ai voulu les voir à l'œuvre. Après bien des instances, j'ai obtenu la faveur de visiter leurs ateliers, et le conservateur du Musée, M. Elliot, voulut bien m'en faire les honneurs. J'ai donc pu interroger les préparateurs et recueillir de précieux renseignements dont je ne puis donner ici qu'un très rapide aperçu.

Aussitôt qu'un animal destiné au Musée a été tué, et avant de le dépouiller, on prend de minutieuses mesures sur ses dimensions : longueur, pourtour et volume du corps, des membres, du cou, de la poitrine, etc. L'attitude à lui donner est étudiée à l'aide de photographies prises sur l'animal vivant en liberté, ou dans les jardins zoologiques où on l'observe pendant des journées entières.

Ce choix fait, le taxidermiste, qui est un sculpteur habile, fait de l'animal un modelage en terre glaise, en se guidant constamment sur les mesures prises sur le cadavre. La connaissance approfondie qu'il possède de l'anatomie des mammifères, de leur squelette et de leur système musculaire, lui permet de faire ressortir toutes les saillies de la peau, dues à la contraction ou au relâchement des muscles que suppose l'attitude choisie.

C'est sur ce modelage, d'un poids énorme pour les animaux de grande taille, qu'on appliquait autrefois la peau tannée de l'animal, c'est ainsi encore que l'on opère dans bien des musées. Mais ce procédé, outre le désavantage qu'il a de donner au corps un poids souvent beaucoup trop lourd pour les membres qui doivent le porter, offre peu de garanties pour la conservation de la peau. Rarement, en effet, en dépit de désinfectants énergiques, on arrive à détruire toutes les larves d'insectes qui s'y trouvent enrobées, et la peau, définitivement collée sur le moule devient, pour ces parasites, une proie qu'il est très malaisé de leur disputer.

Voici comment, à Chicago, on remédie à ces inconvénients. On prend du modelage achevé, des empreintes en creux, avec du plâtre. Dans cette empreinte, on applique une forte toile imprégnée de colle, qui s'adapte aux moindres sinuosités. Sur cette couche élastique on applique une autre toile, métallique cette fois, mais très souple qui prend la forme de la précédente. On arrive à ce résultat, en martelant la toile métallique avec de petits maillets en bois à tête arrondie. Il suffit alors de dissoudre le plâtre dans l'eau pour obtenir des bandes de toile métallique qui, assemblées et cousues ou soudées ensemble, constituent un mannequin à la fois léger et solide, sur lequel il ne reste plus qu'à appliquer la peau préalablement préparée.

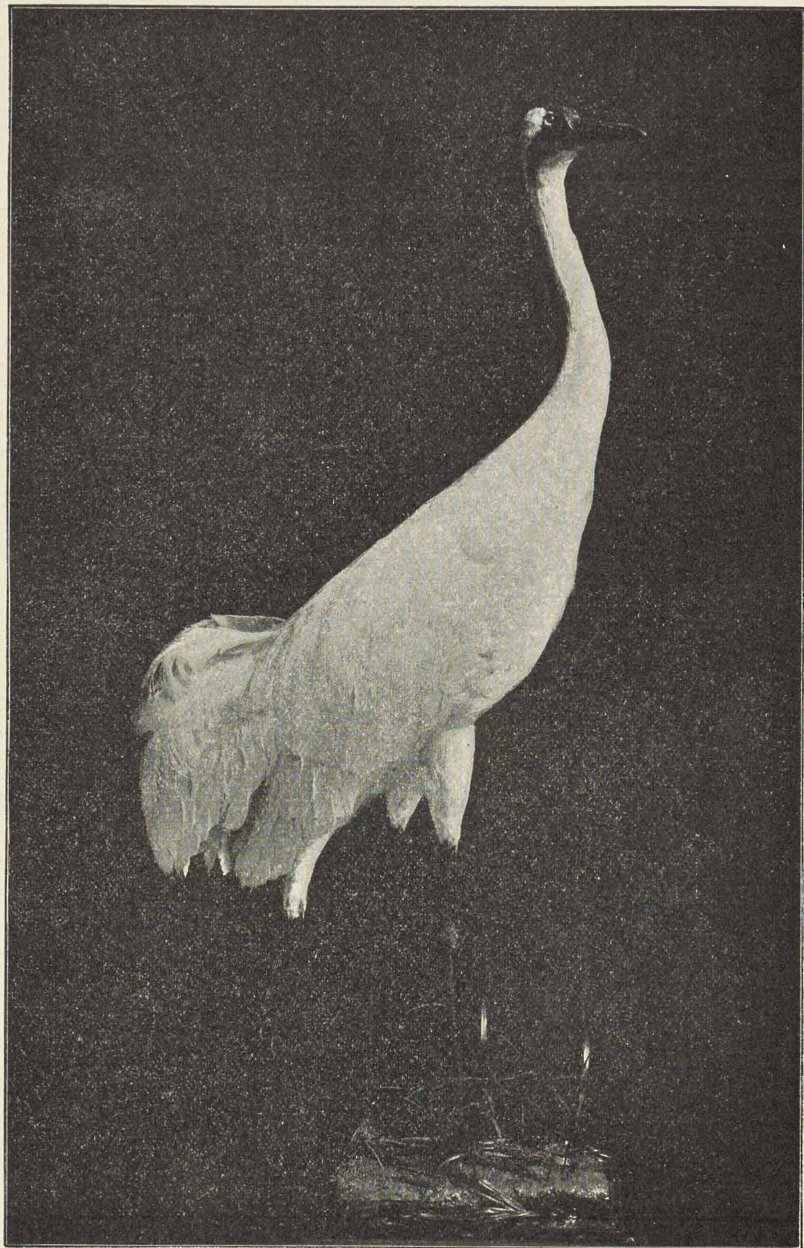
Les principes, on le voit, paraissent simples ; les difficultés sont toutes d'exécution, et il faut, pour en triompher, un savant doublé d'un artiste.

Oiseaux

Pour les oiseaux, comme pour les mammifères, on n'expose, dans les musées américains, qu'une minime partie de la collection générale, celle-ci reste dans les tiroirs ; seule la faune locale en sort tout entière, et y est présentée avec le même art et un égal souci du naturel et du vécu (Planche XIII).

New-York. — C'est là que nous avons trouvé la collection la plus complète et la mieux ordonnée. Elle comprend 12 000 spécimens répartis en quatre sections : une collection générale systématique des types principaux des oiseaux du monde entier ; une collection systématique des oiseaux du Nord de l'Amérique ; une collection systématique locale ; enfin une série de groupes d'oiseaux montés, présentés par familles, avec leurs nids, dans leur habitat, au sein de décors charmants.

PLANCHE XIII



Grue criarde (Washington)

Une vitrine spéciale est réservée aux oiseaux migrateurs qui visitent New-York et la région voisine. On y a joint une exposition saisonnière, qui comprend deux vitrines. La première est réservée aux espèces résidantes; la seconde aux oiseaux migrateurs qu'on ne rencontre qu'à certaines époques de l'année. L'exposition se transforme au cours des saisons. En janvier, on y voit les espèces venues du Nord et pour lesquelles le climat de New-York est supportable pendant l'hiver; on y ajoute, en février et mars, les résidants printaniers qui commencent à revenir du Sud. Au mois de mai, c'est le tour des résidants d'été, auxquels les migrateurs ont fait place.

Un catalogue illustré accompagne cette collection; il donne la liste des oiseaux du pays, et d'intéressants détails sur leurs mœurs.

Tous les groupes sont présentés avec un art exquis. Je voudrais en décrire quelques-uns. Le choix est indifférent, tous sont également intéressants.

Voici un groupe de *Falco peregrinus* avec leurs nids et leurs petits, dans un creux de rocher. Le mâle est de garde; la femelle revient de la chasse portant un pigeon qu'elle dépose près de sa nichée; les petits se trémoussent d'aise à l'aspect du festin. Plus loin, deux cheminées, qui surmontent un toit de tuiles, sont couvertes de nids d'hirondelles, les uns remplis d'œufs, d'autres occupés par les femelles qui couvent, d'autres encore encombrés de petits. Un tableau analogue nous est offert par d'autres hirondelles qui ont creusé leurs nids dans un talus argileux, etc.

Le groupe des oiseaux marins est présenté sur une falaise, recouverte de gazon; çà et là émerge le rocher. Une multitude de mouettes, de goélands, de canards, de pingouins, etc., y ont élu domicile et se livrent à leurs ébats, dans les attitudes les plus variées et toujours naturelles. Les nids se voient dans les anfractuosités des

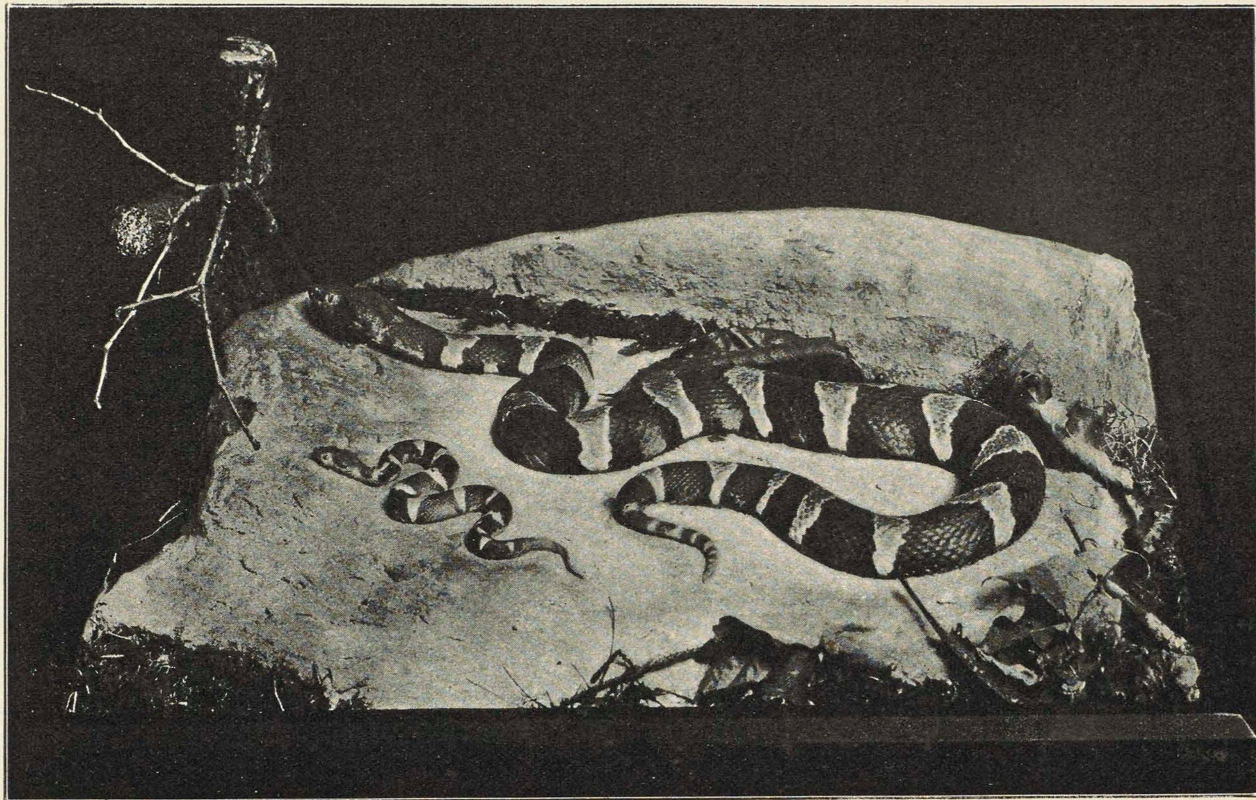
rochers, entre les pierres, dans des trous profonds, de vrais terriers parfois; on en aperçoit aussi aux flancs des talus; ils sont remplis d'œufs ou de petits, les uns honteux de leur nudité, d'autres fiers de leur premier duvet, d'autres encore déjà grandelets et à la veille de leur entrée dans le monde.

La collection de nids et d'œufs est également très riche. On y a joint de superbes photographies de nids habités, prises sur le vivant, dans les bois et aux flancs des rochers, à différentes époques et montrant toutes les étapes du développement de l'oiseau depuis sa sortie de l'œuf jusqu'à son émancipation.

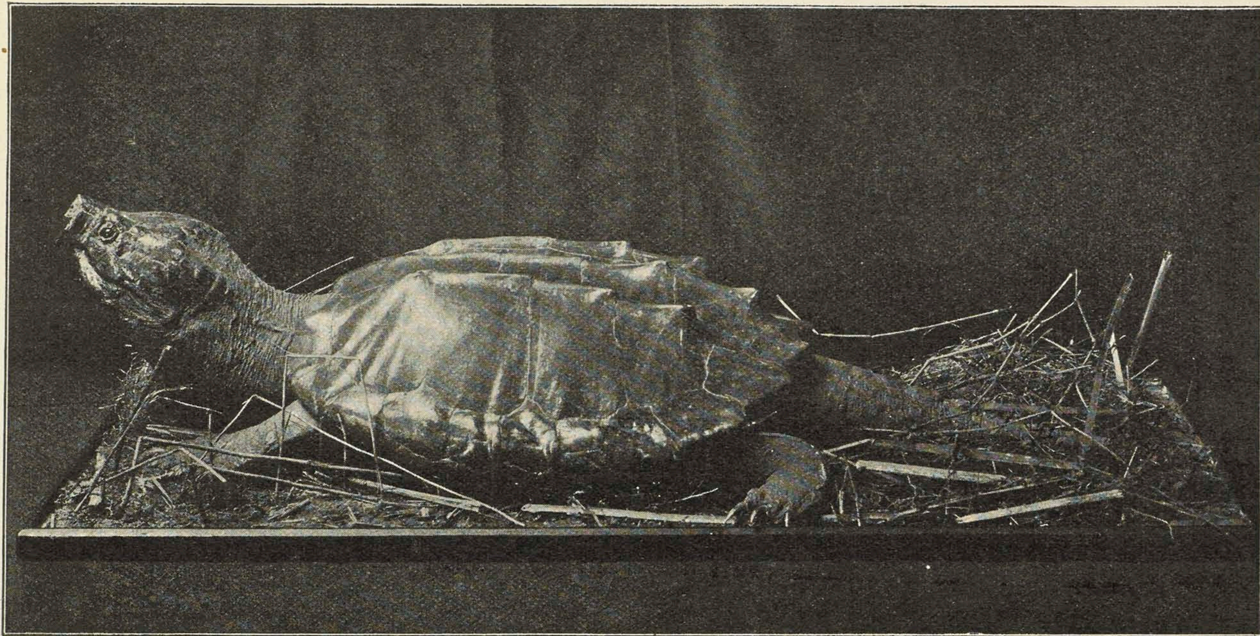
D'autres vitrines ont un intérêt plus scientifique. Nous signalerons en particulier celle qui rappelle, en les montrant sur des pièces détachées, tous les caractères employés en ornithologie pour la détermination spécifique. On y trouve des séries de plumes de la queue et des ailes, avec des étiquettes indiquant leurs noms; des tarses nus ou emplumés; des pattes avec doigts plus ou moins palmés; des becs de toute structure,... bref, c'est, en nature, le tableau synoptique complet des caractères de classification.

Les autres musées ont disposé leurs collections à peu près dans le même ordre et dans le même esprit. Je me bornerai à signaler quelques groupes plus intéressants.

Chicago. — Un groupe complexe s'ébat sur le bord d'un fleuve; on y voit des hérons, des flamants, des alligators, avec leurs commensaux. Une poule à la tête d'une nichée de canards s'effraye de voir ses nourrissons se jeter à l'eau. Voici un coin de champ de trèfles où perdrix et cailles ont fait leurs nids. Un Buceros nourrit sa femelle couveuse, qu'il a murée dans un tronc d'arbre en ne lui laissant qu'une lucarne suffisante pour y passer le bec.



SERPENTS (WASHINGTON)



TORTUE ALLIGATOR (WASHINGTON)

Pittsburg. — Un groupe d'oiseaux chanteurs gazouillent sur un pommier fleuri. Ici un chien de chasse en arrêt devant une compagnie de perdreaux effarés. Là des bécassines ont abrité leurs nids sous un tronc d'arbre vermoulu et couvert de mousse. Des laniers nourrissent leurs petits de larves et d'insectes. Une bande d'étourneaux pillent un cerisier, etc.

Albany. — Nous y avons admiré une collection très complète des nombreuses races de volailles et d'oiseaux domestiques.

Quelques chiffres permettront de juger de la richesse de ces collections américaines. Au moment de notre visite, à Washington, on y comptait 112 274 spécimens avec 64 272 œufs. Cette année même on avait reçu 8211 spécimens et 1545 œufs. A New-York, le nombre des spécimens s'élevait à 76 000 environ, se rapportant à 15 000 espèces. A Pittsburg on avait recueilli 2000 espèces en quatre ans, et Chicago en une seule année en avait acheté plus de 300.

Poissons, Reptiles, Batraciens

La collection générale des poissons, des reptiles et des batraciens n'est exposée dans aucun des musées américains que nous avons visités. On n'y voit qu'un nombre restreint d'exemplaires, choisis parmi les mieux connus du public; encore sont-ce, pour une grande part, des moulages, mais préparés avec une telle perfection qu'ils donnent l'illusion d'animaux vivants. Seuls, les reptiles et les poissons les plus grands ou les plus volumineux sont en peau et montés.

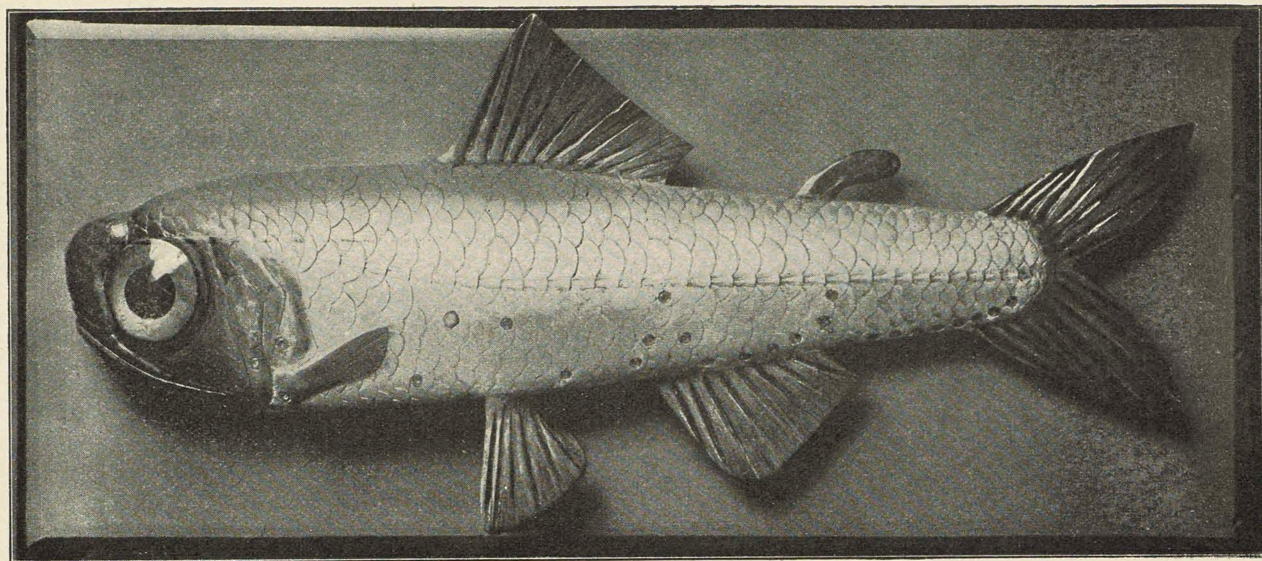
Tous sont représentés dans leur milieu, dans leur habitat et dans les attitudes les plus naturelles. Les poissons moulés en plâtre, sont peints par des artistes

d'après des individus vivants, avec les couleurs qu'ils ont dans l'eau ; le miroitement des écailles argentées ou dorées est très bien imité. C'est dans les aquariums du département des Pêcheries, où l'on peut voir une immense variété de poissons vivants, que les peintres vont prendre leurs modèles.

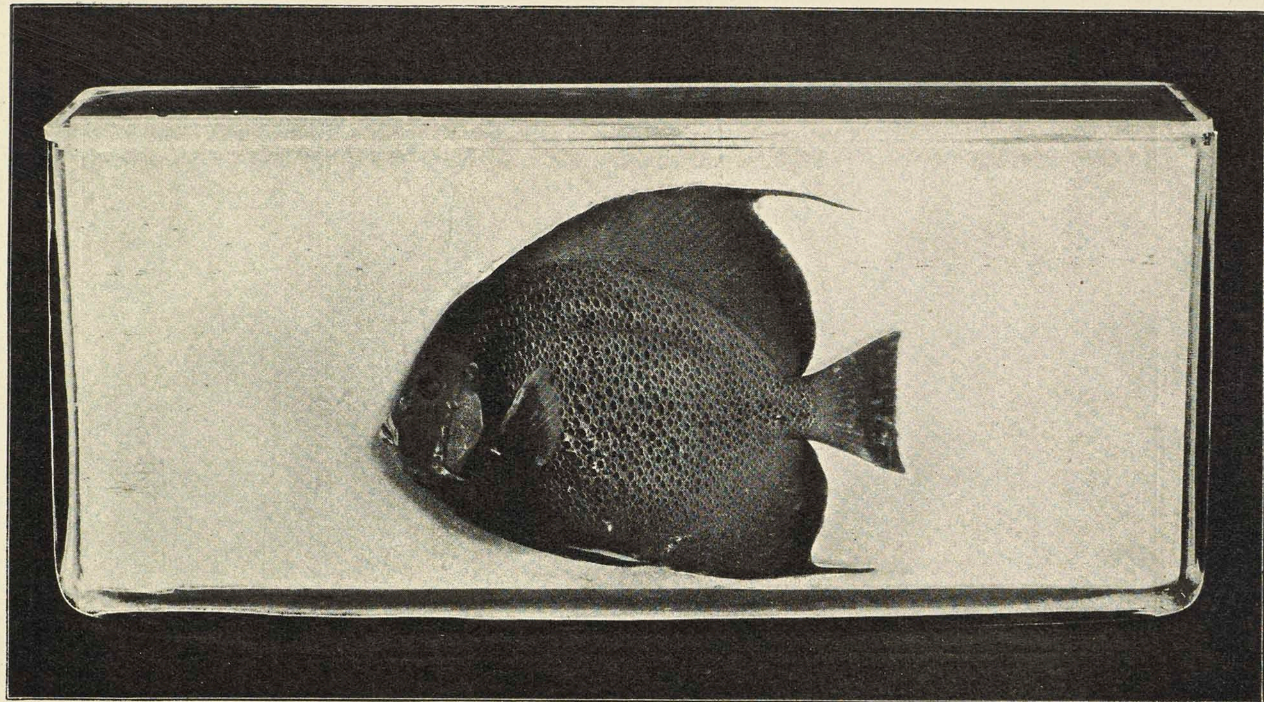
Washington. — Là tous les spécimens des trois classes d'animaux dont nous parlons ici sont en plâtre. « A quoi bon, me disait le conservateur, M. Steinjaeger, montrer au public une série interminable de flacons contenant des poissons ou des reptiles décolorés par l'alcool et déformés par la déshydratation ? Il ne retiendrait rien de pareille visite. Ajoutez à cela que les objets en nature se détériorent, qu'il faut les renouveler et renouveler aussi, et fréquemment, les liquides où ils sont plongés et qui se colorent toujours à la longue. Il est bien préférable de restreindre le nombre des objets exposés et de les présenter dans des conditions qui rappellent le mieux possible leur état naturel. »

Les moulages des poissons tantôt ont leurs deux faces entièrement achevées, tantôt, et c'est le cas le plus fréquent, ils sont taillés en bas-relief et enchâssés sur un fond de plâtre coloré en gris, les nageoires bien étalées.

Les reptiles sont aussi tous moulés en plâtre, enroulés sur un tronc d'arbre, ou à moitié cachés sous les feuilles mortes. Les tortues sont montées en peau, parce que celle-ci et la cuirasse ont une résistance suffisante. On prend de l'animal mort une empreinte en creux, dans la situation choisie ; on en tire un moule donnant, en relief, tous les replis de la peau, les saillies des écailles et leurs dimensions exactes ; c'est sur ce moule que le taxidermiste et le peintre travaillent. Ce travail est long et coûteux, mais la pièce



POISSON LUMINEUX DES GRANDES PROFONDEURS (WASHINGTON)



Poisson dans le Formol (Washington)

ainsi préparée est durable. On l'expose de manière à renseigner le visiteur sur l'habitat de l'animal et sur la forme et l'attitude qu'il a quand on l'observe à l'état naturel (Planches XIV et XV).

Les reptiles les plus communs des États-Unis ont été reproduits de la sorte à Washington. Les autres musées n'ont pas, jusqu'ici, suivi cette méthode; aussi leurs collections d'exposition sont-elles très restreintes, et formées, en grande partie, de spécimens conservés dans l'alcool. Les poissons (Planches XVI, XVII et XVIII) sont généralement exposés en moulages; le Musée de San Francisco n'expose que des spécimens de ce genre, mais la perfection de la reproduction est telle que le public s'y méprend, et est absolument convaincu que les spécimens exposés sont bien des êtres qui ont vécu.

Enfin, pour certains poissons qu'on ne peut acclimater dans les aquariums parce qu'ils vivent à de trop grandes profondeurs, on les expose dans l'alcool; mais on y joint une figure ou des dessins pris sur l'animal vivant.

Ce serait chose aisée, étant donné le petit nombre de reptiles et de batraciens que nous possédons en Belgique, de les présenter ainsi au public, et pareille collection serait certes intéressante.

Entomologie

Partout les collections exposées sont réduites aux types les plus marquants des familles principales.

Washington. — L'exposition est faite dans des meubles verticaux portant sur les deux faces deux gouttières, dans lesquelles glissent seize grands volets vitrés. Une étiquette générale donne tous les caractères de la famille, illustrés soit par des pièces désar-

ticulées et collées sur carton et accompagnées d'une légende explicative, soit par un dessin à la plume, agrandi, quand l'objet figuré est trop petit pour être bien visible à l'œil nu.

La collection éthologique est particulièrement intéressante ; on y a joint des branches d'arbres les plus connus, ravagées par les insectes ou leurs larves, et des livres, des meubles, etc., dévorés ou détériorés par les mites.

Nous avons admiré aussi une belle série de gâteaux alvéolés d'une grande variété d'Hyménoptères, et tout le détail des divers modèles de ruches employés en agriculture.

New-York. — L'exposition est plus importante encore qu'à Washington, surtout celle des Lépidoptères.

Les papillons sont placés sur un fond blanc, formé par un bloc de plâtre où l'on a creusé la cavité qui reçoit le corps. Un verre à vitre recouvre le tout, étale et fait adhérer les ailes.

La série où l'on a réuni les exemples les plus remarquables de mimétisme chez les Lépidoptères, est superbe. On ne se lasse pas d'admirer ces modifications de la couleur des ailes, à la face supérieure ou inférieure, reproduisant la teinte des objets sur lesquels l'animal vit habituellement et le confond avec eux.

Il faut signaler aussi les types exposés de Phasmida, Locustidae et Acriidae (sauterelles) et toute une série éthologique très remarquable. On y a joint, dans des boîtes à fond blanc, des branches et des feuilles artificielles, en cire, les unes à moitié rongées, d'autres desséchées, d'autres encore vertes portant des chenilles d'âges différents, les nids, de jeunes larves, la chrysalide et l'insecte parfait.

Une collection de galles est présentée aussi de façon



EXPOSITION DES POISSONS (WASHINGTON)



Vue d'ensemble du département de la Biologie
a l'Exposition de Buffalo

très intéressante. Une étiquette générale explique leur formation, par la prolifération des cellules voisines de l'endroit où la plante a été piquée et où l'œuf de l'insecte a été déposé. A côté on voit la plante et l'insecte, et on indique les moyens employés pour se débarrasser de celui-ci. Enfin, des photographies montrent les ravages occasionnés dans les forêts par *Ocneria dispar*, et les étiquettes font l'histoire de l'invasion et des remèdes qu'on a employés pour la combattre.

La collection des cocons produits par le ver à soie de différentes provenances, est une de celles qui retiennent surtout l'attention des visiteurs.

Jusqu'ici pareille exposition entomologique est inconnue à Bruxelles, mais l'installation des galeries nouvelles nous réserve, dit-on, des merveilles.

Conchyliologie

La collection de coquilles qui a servi à la célèbre monographie de Tryon se trouve à Philadelphie dans un très mauvais état de conservation, et présentée sans art et sans souci d'instruire le public. C'est à New-York et à Washington que nous avons trouvé les collections les plus instructives et les plus soignées.

Sur des tables en plan incliné, recouvertes de drap vert, les coquilles sont fixées par des clous de cuivre. On les présente sous plusieurs faces pour la démonstration des charnières, des impressions polléoles et musculaires, de la disposition des tours de spire à l'intérieur et à l'extérieur (Planche XX). Les univalves sont accompagnées de schémas colorés, représentant l'anatomie des types principaux, leur système nerveux, circulatoire, digestif, etc.; des dessins représentent l'animal vivant. Une vitrine spéciale montre l'usage

que l'industrie fait des coquilles. On y voit une collection de perles, une série de coquilles entamées par l'outil qui en tire des boutons de nacre; une série de boutons achevés, etc.

Les bivalves sont présentées sur des plats. Nous signalerons surtout, comme particulièrement instructive, l'exposition de roches, de pièces de bois, de débris de coques de navires montrant les dégâts commis par les Pholas et les Térédos.

Les mollusques sans coquilles sont exposés dans l'alcool ou le formol, ou, plus souvent, en spécimens artificiels; ainsi les céphalopodes, les seiches, octopus, etc., y figurent dans des moulages en cire ou en celluloïde d'une très grande perfection.

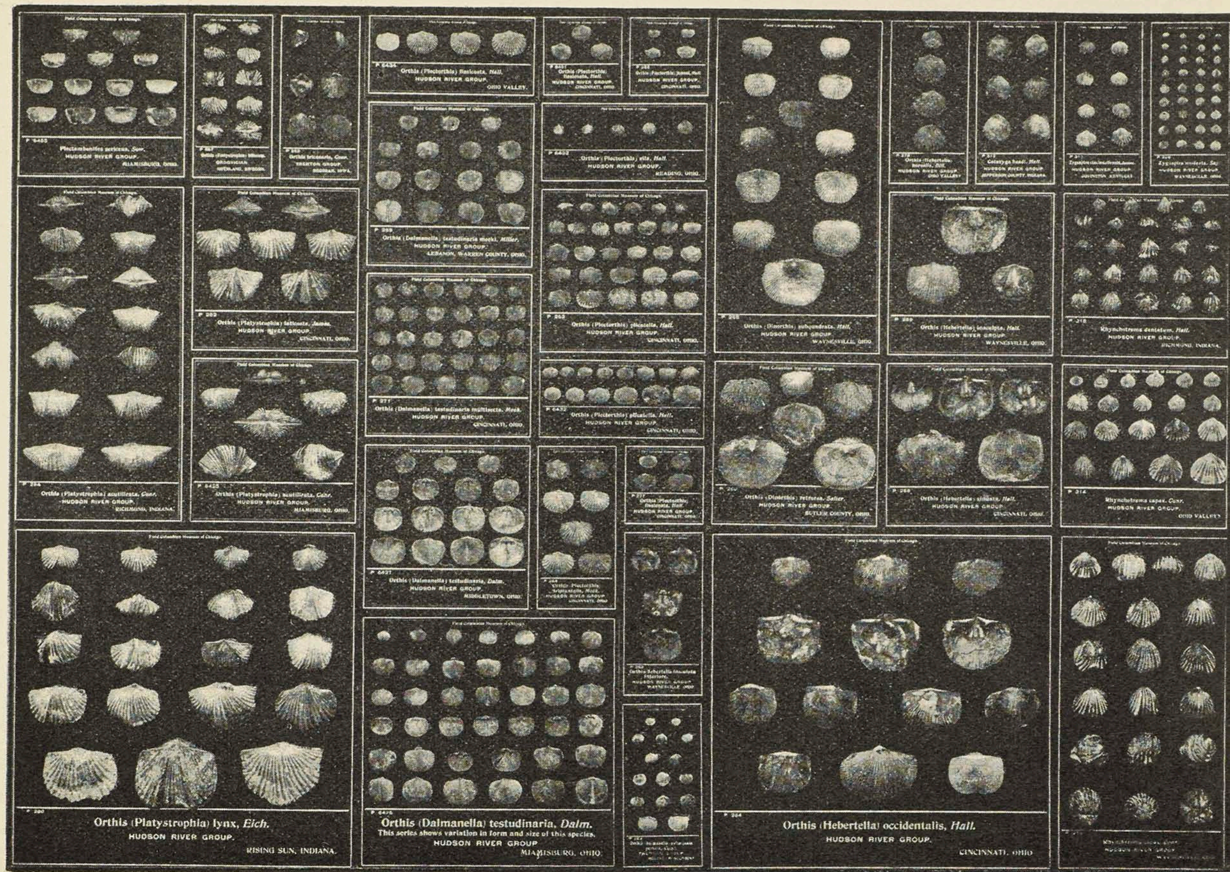
On jugera de la richesse de ces collections par ce détail : Le Musée de Washington contient 725 086 spécimens de mollusques.

Invertébrés

Les invertébrés, autres que les mollusques et les arthropodes, sont très largement représentés dans les musées américains. Celui de Washington possède 510 765 spécimens d'invertébrés non articulés. On expose tous ceux qui ont un squelette calcaire ou siliceux, sur lequel l'animal se développe. Ce sont les Echinodermes, avec leur immense variété de formes : oursins, étoiles de mer, holothuridés ; les Porifères, les Spongiaires, les Coralliaires.

A New-York comme à Washington, ces collections sont remarquables à la fois par la beauté des spécimens et par leur nombre.

On y trouve à profusion les Coelentérés, les Actiniaires, les Hydroïdes, les Anémones de mer, dont quelques-uns en nature, préparés et durcis dans l'alcool, et provenant des stations zoologiques de Naples ou de



EXPOSITION DES MOLLUSQUES (CHICAGO)

Woods' Holl, mais la plupart modelés en cire ou en celluloïdine. On peut voir, ainsi reproduites, des séries entières de toutes les classes des Invertébrés. Entre autres, une série particulièrement soignée de vers parasites Tubellariés, Trématodes, où la structure anatomique est visible par transparence; le développement et les métamorphoses des Helminthes, Taenia, Trichine, Distomes; les sangsues avec toute leur anatomie figurée sur des schémas ou des dessins à la plume.

Les Protozoaires sont bien représentés par des dessins à la plume ou des figures empruntées aux ouvrages classiques. On peut y suivre tout le développement des grégarinides, des infusoires ciliés, des vorticelles, etc.

Des légendes explicatives détaillées, avec l'indication du grossissement, accompagnent ces reproductions. Enfin des préparations microscopiques en place, dans le laboratoire du conservateur chargé des invertébrés, peuvent être consultées par le public.

La collection des Helminthes du Musée de Washington est celle qui nous a le plus intéressé. Elle a été formée par deux fonctionnaires du Ministère de l'Agriculture, MM. Stiles et Hassall, vétérinaires et docteurs ès sciences. Ce sont eux qui ont la charge du *Bureau of animal Industry*, l'inspection générale des viandes de boucherie, des viandes conservées et exportées, ainsi que celle des troupeaux atteints de maladies épidémiques vermineuses.

Leurs installations comprennent un grand laboratoire, muni des derniers perfectionnements modernes : microscopes, microtomes, thermostat, couveuses, etc. ; une chambre noire avec appareils pour la photographie microscopique; un second laboratoire pour un ou deux assistants, qui sont, le plus souvent, de jeunes vétérinaires auxquels l'État paye un traitement annuel de 2400 francs; enfin une bibliothèque helminthologique

que M. Stiles m'assure être la plus complète du genre.

Dans les sous-sols, des centaines d'animaux en expérience : poules, canards, oies, rats, chiens, cobayes, sur lesquels se font des transmissions de parasites au moyen de leurs formes larvaires.

Cette collection spéciale comprend 4746 espèces ; elle est certainement une des plus complètes qui aient été formées jusqu'ici.

Ce service publie, à l'usage de ceux qui s'occupent d'élevage, de courts traités où sont exposés les caractères distinctifs et la forme extérieure des parasites les plus fréquents en Amérique. Signalons entre autres : les parasites des oiseaux de basse-cour, des moutons, des bovidés, des équidés, etc. Ces petits traités sont répandus dans toutes les stations agronomiques et forestières, dans les écoles d'agriculture, et mis entre les mains des fermiers, le plus souvent gratuitement.

Anatomie comparée

Nous avons trouvé des collections d'anatomie comparée dans trois musées : à Washington, à Chicago, à Pittsburg ; à New-York on travaillait à la former.

Celle de Washington est la plus riche : elle comprend plus de 15 491 spécimens. Essayons d'en donner une idée par une simple énumération.

On y voit une série complète des divers types de squelettes de vertébrés montés, avec pièces détachables et étiquetées, depuis les poissons jusqu'à l'homme ;

Une série de crânes, avec os désarticulés et teintés différemment, suivant leur origine embryonnaire, les homologues conservant la même teinte dans toute la série ;

Une série de membres et de leurs modifications dans les différents groupes, depuis l'homme jusqu'aux poissons ;

Plusieurs séries pour l'étude comparée de l'épiderme, des cornes, des organes des sens, du tube digestif;

Des moulages en plâtre démontrent la structure du cerveau et l'origine des nerfs crâniens; l'anatomie complète des organes génitaux et des organes des sens, de la sangsue, d'un arénicole, de l'écrevisse, d'une ascidie, d'une planaire, d'un ver à soie, d'une anodonte, d'une étoile de mer, etc. Ces modèles démontables donnent toute l'anatomie topographique de ces animaux.

A Chicago, la collection, sans être aussi complète, est cependant très importante. Elle renferme 225 squelettes entièrement montés parmi lesquels ceux des plus grands mammifères : éléphant, rhinocéros, hippopotame, girafe, etc.

A Pittsburg, l'exposition est absolument conçue sur le modèle de celle de Washington. L'anatomie humaine y figure au complet : squelette, systèmes musculaire, circulatoire et nerveux, en pièces originales ou en moulages; viennent ensuite les anthropomorphes.

Signalons aussi la dentition du cheval aux différents âges; et toute une série de modèles en papier mâché, provenant de la maison Deyrolle de Paris, et donnant l'anatomie interne et externe des animaux suivants : coléoptère, abeille, hanneton, amphioxus, grenouille, méduse, limace, écrevisse, ver à soie, poisson, sangsue, ascidie, étoile de mer, distome, tœnia. Tous ces spécimens, de grand modèle, peuvent être démontés et donnent l'anatomie topographique complète.

A New-York, on s'occupe de la formation d'une courte série de squelettes désarticulés, symétriquement ordonnés qui illustrera largement l'anatomie comparée des poissons, des batraciens, des reptiles, des oiseaux et des mammifères; c'est un acheminement vers une collection de séries de squelettes des différentes classes de Vertébrés, représentant les familles

principales et les genres. Chacun sera monté dans une attitude caractéristique, accompagné de diagrammes montrant les relations du squelette avec le reste du corps, et de dessins artistiques de l'animal vivant.

Embryologie

Les musées de Washington et de Pittsburg exposent des collections embryologiques ; celles du Musée national sont les plus belles et les plus complètes. Tout y est figuré par des modèles en cire. Nous nous bornerons à l'indication de quelques séries : celles qui montrent le développement du cœur et du cerveau ; celui de l'œuf de poule, de grenouille et de la truite. Des coupes macroscopiques à travers des embryons d'amphioxus, d'esturgeon, etc., permettent de suivre la formation des tissus et des organes. L'*Hydrophilus piceus*, les méduses, les scyphoméduses fournissent des séries analogues. Les formes embryonnaires pélagiques les plus communes, sont abondamment représentées en séries complètes.

Collections de systématique générale

Les musées américains, nous l'avons dit, ont complètement renoncé à exposer les collections de systématique générale. De fait, le grand public n'y trouve qu'un médiocre intérêt et n'en retire rien. Ce qui captive son attention, ce qui le charme et l'instruit à la fois, ce sont les groupes mis en scène, évoquant la réalité et la vie. Nous avons vu avec quel art et quel succès les Américains se sont employés à les satisfaire.

Les collections générales n'intéressent que les chercheurs, et ils demandent non seulement à les *voir*, mais à les *manier*. Les objets montés sont encombrants ; bientôt l'espace leur manque et, à vouloir les exposer,

on aboutit à un entassement à peu près sans utilité. Ils se prêtent mal, d'ailleurs, à l'étude. Une peau que l'on peut retourner en tous sens, rendra de bien meilleurs services à un spécialiste, en quête de caractères spécifiques, que l'animal monté. Cela est vrai surtout des oiseaux dont on doit pouvoir examiner les plumes, déployer les ailes et la queue. Et combien seront facilitées les expéditions des objets dont les naturalistes, éloignés du musée, auront besoin pour leurs travaux !

Les mammifères et les oiseaux de la collection générale sont donc, dans les Musées américains, conservés en peaux, dans des meubles spéciaux dont un revêtement en zinc protège tous les tiroirs contre l'invasion des larves d'insectes que n'arrêterait pas une paroi de bois.

Chaque armoire comprend une série de tiroirs superposés, proportionnés à la taille des animaux dont ils doivent recevoir les dépouilles. Chaque tiroir porte l'indication de son contenu. Chaque peau a sa fiche donnant le nom de l'espèce, son habitat, son sexe, le nom de celui qui l'a déterminée, le numéro de la collection spéciale à laquelle elle appartient, et celui de l'inventaire général.

On sait que les mammalogistes et les ornithologistes américains poursuivent avec une véritable fièvre l'étude de la variation due aux influences extérieures ; aussi leurs tiroirs regorgent-ils de variétés.

Nous avons été agréablement surpris de trouver à Washington de très belles et très nombreuses séries des petits mammifères de Belgique ; le conservateur américain qui est venu les former chez nous a reçu l'hospitalité de M. Sélys-Longchamps.

Les collections ostéologiques des petits mammifères sont conservées de la même manière ; tous les petits squelettes sont placés dans des tubes en verre, qui reposent sur une couche d'ouate.

Les Reptiles, les Batraciens et les Poissons sont conservés dans l'alcool et le formol, ainsi que les vers et les autres invertébrés mous. Les Arthropodes et les Mollusques sont conservés par des procédés usuels. Ces collections sont placées dans des armoires vitrées, distribuées dans les bureaux des conservateurs, ou dans des salles adjacentes. A chaque section est annexée une bibliothèque spéciale, à la disposition des naturalistes ; des tables, des chaises, tout le matériel nécessaire au travail, leur sont préparés.

Je n'insisterai pas sur la richesse et l'excellente tenue des collections américaines. Les travailleurs qui les utilisent n'ont rien à envier aux visiteurs qui parcourent les salles d'exposition. Si l'on n'a rien négligé pour aider à la vulgarisation de la science, on a tout fait pour concourir à ses progrès.

Dr H. Lebrun.

L'ACTION ÉLECTRIQUE

DU SOLEIL

I. — LES FAITS

Le Soleil rayonne constamment l'énergie sous forme de lumière, de chaleur, d'électricité, etc., et rien ne nous autorise à penser qu'il faille borner à ces effets son action physique sur les Mondes qui gravitent autour de lui.

La science actuelle, en effet, admet une communion plus intime encore entre l'astre central et les planètes : elle croit à un échange possible de matière ionisée entre ces mondes lointains. Les ions franchiraient les espaces interplanétaires s'élançant du Soleil vers les planètes, sous la forme cathodique.

Toutefois, de toutes ces actions, la plus importante, au point de vue de l'activité solaire et de la vie planétaire, semble être l'*Électricité*.

Le rôle que paraît jouer l'électrisation solaire dans les phénomènes dont les planètes en général et la Terre en particulier sont le siège, n'avait attiré l'attention que depuis une vingtaine d'années; lorsque les découvertes récentes des rayons cathodiques, de la radioactivité et de l'ionisation de la matière vinrent démontrer que l'électricité pourrait bien être le principe fondamental de l'énergie elle-même.

Dès lors il devient naturel de chercher à rattacher à

ce mode d'activité, le rôle prépondérant de l'énergie solaire. Ce sera l'objet de cet article.

L'entreprise pourra paraître prématurée, mais si elle aboutit à encourager et à diriger les recherches dans une voie nettement tracée, elle ne sera pas dépourvue d'intérêt.

De fait l'analyse rapide des observations et des théories les plus récentes en a justifié le principe : cette analyse nous montrera que l'astre solaire constitue en réalité une source puissante d'électricité qui rayonne dans l'espace et dont l'action inductrice paraît bien jouer un rôle capital dans la physique terrestre et planétaire.

PREMIÈRES RECHERCHES SUR L'ÉLECTRISATION SOLAIRE

Nos premières recherches sur ce sujet datent de 1885, elles furent poursuivies à la Sorbonne, au laboratoire de recherches physiques, et au Collège de France.

Les résultats de ces études préliminaires furent relatés, sur l'avis de M. Bouty, dans un pli cacheté déposé à l'Académie des Sciences, le 29 juin 1885, sous le n° 3956. Ce pli fut ouvert par le secrétaire perpétuel, dans la séance du 5 août 1889. Ce même jour, une note présentée à l'Académie par M. Mascart signalait les faits suivants :

Étude sur les phénomènes électriques produits par les radiations solaires.

A la suite de nombreuses observations faites depuis le mois de mai 1885, jusqu'au mois de juillet 1889, j'ai pu établir que les radiations solaires sont la cause de certains phénomènes dont l'étude est résumée dans les lois suivantes :

1° Les radiations solaires, en rencontrant un conducteur isolé (métal ou charbon), communiquent à ce conducteur une charge électrique positive;

2° La grandeur de cette charge croît avec l'intensité des radiations solaires et décroît avec l'état hygrométrique de l'air. Le phénomène atteint à Paris sa valeur maxima en été, vers une heure de l'après-midi, lorsque l'atmosphère est pure et sèche;

3° Le passage des nuages devant le Soleil fait cesser le phénomène.

Ajoutons qu'on avait soigneusement étudié dans des expériences préalables, l'influence des phénomènes complexes qui pouvaient fausser les observations en produisant une charge électrique indépendante de la charge due aux radiations solaires.

Ainsi, l'on avait constaté qu'en disposant la plaque à l'air libre et à l'ombre, elle se chargeait d'électricité sous l'influence du vent. Cette cause perturbatrice avait été soigneusement écartée par l'emploi de la caisse métallique empêchant le courant d'air.

D'autres phénomènes secondaires tels que l'échauffement de la plaque, les actions thermoélectriques, etc., avaient été reconnus négligeables devant le phénomène étudié.

S'il est permis d'étendre ces résultats à des corps non métalliques, on peut considérer les radiations solaires comme l'une des causes de l'électrisation des nuages.

Ces résultats qui ne paraissaient cadrer avec aucun des faits connus à cette époque : phénomènes actino-électriques, effets d'ionisation, etc., furent d'abord contestés par divers physiciens, puis ils tombèrent dans l'oubli.

Seuls, quelques rares expérimentateurs reprirent ces recherches. M. Baldit, en particulier, vérifia le fait de la charge positive d'un conducteur soumis aux radia-

tions solaires, à l'aide d'un électromètre d'Elster et Geitel. Mais les magnifiques découvertes des rayons cathodiques, des rayons de Rœntgen et de la radioactivité orientèrent tous les chercheurs vers ces nouvelles sources d'énergie, et la plupart tentèrent bientôt d'expliquer les perturbations électromagnétiques dont la Terre est parfois le siège, par l'action de rayons cathodiques et de transports d'ions électrisés du Soleil vers la Terre.

Rappelons brièvement ces explications.

THÉORIE CATHODIQUE

L'hypothèse de l'émission cathodique par le Soleil fut formulée par Arrhenius. Il admit que des gouttelettes ou particules solides, chargées négativement, étaient repoussées par le Soleil jusqu'à l'atmosphère terrestre.

Goldstein, puis Deslandres, fondèrent sur cette hypothèse la théorie des rayons cathodiques émis par le Soleil et susceptibles d'influencer directement la Terre.

Birkeland admit également comme probable, l'émission de rayons cathodiques par le Soleil et crut voir dans les aurores boréales une de leurs manifestations.

Nordmann émit d'abord l'hypothèse que les aurores boréales et les variations du magnétisme terrestre étaient produites par des ondes hertziennes envoyées par le Soleil sur la Terre (Journal de physique, année 1904, p. 283). Puis il supposa que le Soleil pouvait envoyer des rayons α, ou anodiques, analogues à ceux des corps radioactifs, chargés positivement.

Enfin Carl Störner, abordant l'étude mathématique de ces vues théoriques ou de leurs applications, annonça qu'elle semblait vérifier l'hypothèse de Birkeland, sur la cause des aurores boréales; elles seraient dues à des rayons cathodiques ou à des rayons ana-

logues émanés du Soleil et aspirés par les pôles magnétiques de la Terre.

Ces diverses hypothèses, du reste fort ingénieuses, présentaient cependant des points faibles.

Elles n'étaient en réalité basées sur aucune expérience directe, et négligeaient complètement les faits établis antérieurement sur l'électrisation *positive* produite par le Soleil.

Or des faits, dûment observés, peuvent seuls fournir le point de départ d'une théorie à peu près stable; quand cette base solide fait défaut, comme dans la théorie cathodique du Soleil, ce ne sont ni les conjectures, pour ingénieuses qu'elles soient, ni même les vérifications mathématiques trop souvent illusoires, qui peuvent en tenir lieu.

D'ailleurs, une objection de principe avait été formulée contre les théories précédentes par Schuster. Ce physicien ne croyait pas qu'une émission directe du Soleil sous la forme cathodique ou sous une forme analogue, pût fournir l'énergie mise en jeu dans les orages magnétiques. Et il donnait pour raison que cette émission aurait pour conséquence de communiquer au Soleil une charge électrique positive, toujours croissante : elle se trouverait, dès lors, promptement arrêtée; de plus, on n'expliquerait pas la divergence des champs magnétiques qui se manifestent au même moment en des points éloignés du globe terrestre.

Arrhenius, qui cependant était partisan de l'émission cathodique du Soleil, avait été dans l'obligation de reconnaître lui-même le point faible de cette théorie. Il avoua que si le Soleil n'émettait que des particules chargées négativement, cet astre prendrait rapidement une charge positive énorme; et que, en raison même de cette charge, il influerait sur la trajectoire des particules qu'il émettait, et finirait par en capter un grand nombre. Il attirerait de la même façon les parti-

cules cosmiques émises par d'autres Mondes. Il y aurait finalement compensation entre les gains et les pertes, et réalisation d'un équilibre électrique (PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY, t. LXXIII, p. 496).

Un fait analogue se produirait du reste, si l'astre solaire rayonnait des rayons α chargés positivement. La charge négative croissante du globe solaire arrêterait bientôt cette émission.

L'émission *continue* de particules chargées électriquement, de la surface solaire vers les planètes semble donc très peu probable. Mais comme le fait même du transport d'ions dans le vide interplanétaire n'est pas infirmé par les observations qu'on a pu instituer dans les laboratoires, il est permis d'admettre que le Soleil est capable, dans certains cas particuliers, d'émettre dans l'espace des particules chargées électriquement, seulement pendant des périodes de temps limitées. Rien non plus ne s'oppose à admettre qu'une émission de particules chargées négativement soit suivie d'une émission de particules chargées positivement qui rétabliraient l'équilibre électrique dans la masse solaire. Mais tout cela est du domaine de la pure conjecture; aucun fait positif ne nous permet à l'heure actuelle de donner une base sérieuse à ces suppositions.

Certains physiciens, comme Quet et Siemens, avaient aussi admis que le Soleil pouvait émettre des ondes électromagnétiques, susceptibles de déterminer par induction électrodynamique des orages analogues à la surface de la Terre (COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, XCV-LXXXVI-CXXXVII-XCV).

Mais lord Kelvin, dans une étude serrée des faits, a établi d'une façon définitive que des phénomènes semblables ne pouvaient se produire dans aucun cas.

L'action de radiations électriques du Soleil sur la Terre avait du reste déjà été pressentie par Olbers et

Zöllner dès l'année 1881. Ils admirent que la force répulsive produite par le Soleil pouvait provenir d'un *état électrique* particulier au Soleil (COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, 1881).

Puis, de Heen annonçait à l'Académie, au mois de mars 1897 (COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, séance du 1er mars 1897), qu'il était parvenu à rendre visible par la photographie l'action électrique du Soleil.

Zenger démontra, en 1898, dans une suite d'études très remarquables, que l'origine de la plupart des perturbations terrestres devait être recherchée dans les *variations électriques du Soleil* (COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, XXVIII-CI-CIV-CXI).

Il annonçait avoir obtenu des photographies donnant des zones blanches ou blanchâtres, circulaires ou elliptiques, tout autour du Soleil, et dépassant parfois de quinze à vingt diamètres l'image solaire (COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, CII, p. 987).

Vers le 2 avril elles n'étaient plus que de deux diamètres solaires, après avoir atteint six diamètres le 3 mars et être devenues très blanches. Il paraît manifeste à Zenger, qu'il doit y avoir un lien intime entre l'apparition de ces zones blanc de neige et les plus grandes perturbations magnétiques terrestres et solaires, « qu'il doit se former des *trombes électriques* dans les espaces interplanétaires », qu'il doit se produire des *décharges colossales* à travers la couronne dans l'espace interplanétaire, par suite de la formation de ces tourbillons qui, interposés entre nous et le Soleil, interceptent la lumière, comme un nuage très dense. C'est ainsi que se forme, eu égard à l'inclinaison de l'axe du tourbillon, une zone blanche circulaire, elliptique, parabolique, même parfois conique, ainsi qu'on a pu l'observer en avril et novembre 1882 « pendant les grandes perturbations magnétiques ».

OBSERVATIONS DE M. BRUNHES

La théorie électrique du Soleil en était là quand M. Bernard Brunhes, directeur de l'Observatoire du Puy-de-Dôme et professeur à la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand, eut l'occasion de reprendre en 1905 les recherches sur l'électrisation solaire dans des conditions expérimentales particulièrement intéressantes. Il put alors vérifier les faits antérieurement constatés de l'électrisation positive produite par les radiations solaires. Ces importantes recherches ont été décrites dans la REVUE SCIENTIFIQUE (24 mars 1906, n° 12, t. V, p. 357). Nous en citerons quelques passages.

Action directe des rayons solaires tombant sur l'appareil à déperdition (en montagne).

« Les observations que nous avons eu l'occasion de faire sur ce dernier sujet ont besoin d'être poursuivies et complétées, et j'aurais attendu pour les citer si, telles qu'elles sont, elles n'étaient venues confirmer d'une manière inattendue d'anciennes expériences de M. Albert Nodon, qui n'ont pas été assez remarquées. J'ai eu connaissance de ces expériences par M. Nodon lui-même, que j'ai eu le plaisir de voir au Puy-de-Dôme, au mois d'août 1905, en lui mettant entre les mains notre cahier d'observations, je lui ai montré que nous avions retrouvé par une voie différente, un résultat qu'il avait trouvé il y a vingt ans...

» Voici la copie d'une page de mon registre d'observations :

» Sommet du Puy-de-Dôme. 20 juin 1905. Appareil d'Elster et Geitel. 7 heures du matin. Je me sers d'un compteur à secondes, mis d'abord au zéro.

COMPTEUR	Feuille de gauche.	Feuille de droite.	OBSERVATIONS
—	—	—	—
		Charge positive	
0 m.	12	11	Le Soleil se dégage du brouillard.
1 m.	13	11,5	Soleil clair.
2 m.	12,8	11,2	
3 m.	12	10	Presque du brouillard. Les nuages légers venus des flancs des montagnes passent tout près de l'appareil. Il fait beau.
4 m.	11	9,8	Le brouillard s'en va, mais le Soleil est voilé par un nuage.
5 m.	11,3	10,2	
6 m.	11,3	10,2	
7 m.	11,3	10,2	Apparition du Soleil qui se dégage des nuages.
8 m.	12,5	11	Soleil clair.
9 m.	12,5	10,5	Soleil voilé (10 m. 30 s.)
11 m.	12,5	11	
12 m.	12,5	10,5	Soleil va réapparaître. A 12m. 30s., augmentation de l'écart, rapide mais nette.
13 m.	12,2	10,8	
14 m	11	9,5	Soleil.
15 m.	10,6	9,4	
16 m.	11	9,8	Soleil, un instant voilé par un léger nuage, va réapparaître.
16 m. 30 s.	12	11	
17 m. 5 s.	11	9,5	Soleil clair.
18 m.	12	10	Soleil se voit à travers les nuages.
18 m. 30 s.	11	9,4	Soleil voilé.
19 m. 30 s.	11,5	10	Soleil va apparaître.
20 m.	11	9,5	Soleil clair.
		Même appareil (charge négative)	
0 m.	9,5	8,2	Soleil voilé.
0 m. 30 s.	8,0	7,8	Soleil clair.
1 m.	7	6	
1 m. 30 s.	6	4,5	

» Les expériences de M. Nodon, si remarquables, si on les replace à leur date, antérieure aux travaux sur l'effet actinoélectrique de la lumière ultraviolette, imposent, à mon sens, aux mesures qui précèdent une interprétation unique. Un rayonnement émané du Soleil

en venant frapper le conducteur métallique, en détache des ions négatifs, ce qui accroît la vitesse de décharge, s'il est chargé négativement, ce qui diminue cette vitesse et peut changer la décharge en accroissement de charge, si le conducteur est chargé positivement...

» Le fait même de la charge positive d'un corps isolé par les rayons solaires a été ultérieurement vérifié par M. Baldit avec l'électromètre d'Elster et Geitel. On a pu obtenir en une heure une charge de 15 divisions, soit 144 volts. A supposer que la vitesse de charge fût régulière, cela donnerait une augmentation de potentiel de 2, 4 volts à la minute.

» On voit ainsi quelle influence perturbatrice considérable pourra introduire l'action des rayons solaires. Et cependant il ne paraît pas que dans la généralité des cas, elle constitue un facteur aussi prépondérant que la dernière mesure semblerait indiquer. Des mesures de déperdition faites avant et après le coucher du Soleil, par exemple, offrent entre elles des différences du même ordre que des mesures faites à diverses heures de la journée.

» Des mesures faites en plein Soleil, en terrain découvert et au voisinage, sous bois, ne donnent pas des résultats identiques, la dissymétrie tendant à disparaître absolument sous bois; mais les différences restent en général légères.

» Il faut une exceptionnelle transparence de l'atmosphère pour que les radiations actives atteignent en totalité l'appareil sans avoir été absorbées.

» Le rôle ionisant de ces radiations, qui appartiennent sans doute à la région ultraviolette du spectre solaire, a pu néanmoins être mis en évidence avec assez de netteté pour qu'il ne soit plus possible, dans une explication générale, de faire abstraction du résultat de M. Nodon, et pour qu'il soit nécessaire, en attendant qu'on ait donné de ce résultat une autre interpré-

tation, *d'accueillir avec réserves, quelque séduisantes qu'elles soient, les théories qui veulent voir avant tout dans le Soleil un centre d'émission d'ions négatifs.* »

Les nouveaux résultats que nous venons d'exposer, nous ont engagé à reprendre cette étude à Bordeaux, dès le début de l'été de l'année 1906.

Toutefois, nous avons dû, dans ces recherches, nous contenter de moyens modestes et à peine suffisants, car nous n'avions pu obtenir aucun appui bienveillant de la part de ceux qui auraient pu nous aider dans cette étude.

Malgré l'insuffisance de ces moyens, nous avons pu cependant obtenir des résultats assez encourageants pour nous engager à les publier, pensant qu'ils pourront servir à des observateurs plus favorisés que nous, pouvant reprendre avec plus d'assiduité ces études, dont le grand intérêt n'échappera à personne.

Nous commencerons par décrire les dispositifs expérimentaux qui ont été utilisés par M. Brunhes et par nous.

DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

Dans nos précédentes recherches de 1885-1889 nous fîmes usage d'un électroscope condensateur à feuilles d'or. Mais les charges électrostatiques induites par le Soleil étaient trop faibles pour pouvoir être décelées d'une façon appréciable dans cet appareil peu sensible. A la suite de quelques tâtonnements, nous nous arrêtons au dispositif suivant (COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, 5 août 1889). Une plaque métallique isolée sur un support Mascart était disposée au centre d'une grande caisse métallique. Cette caisse était mise en communication avec le sol et formait cage de Faraday. Une ouverture ménagée dans le couvercle permettait aux rayons solaires de pénétrer à l'intérieur

de la caisse et de venir frapper la plaque métallique isolée. La plaque elle-même était mise en relation avec un électromètre permettant de déterminer la valeur de la charge. On employa successivement l'électromètre Lippmann qui dut être abandonné à cause de sa capacité trop considérable pour ce genre d'expériences, puis les électromètres de Hankel, de Curie et de Mascart.

La caisse métallique, l'enveloppe de l'électromètre et le milieu de la pile de charge étaient en communication permanente avec un même point du sol dont le potentiel était pris comme zéro. L'aiguille de l'électromètre était reliée à la plaque métallique isolée.

L'expérience consistait à mettre cette plaque métallique au sol, puis à l'isoler. Suivant l'intensité des radiations solaires, on observait une déviation produite par un Daniell dont l'un des pôles était au sol.

Le dispositif dont la description et la photocopie furent reproduites en 1889 par La Nature, présentait cependant quelques inconvénient que nous reconnûmes dans la suite. Il n'était pas transportable, son réglage était délicat et il était difficile de soustraire à l'action perturbatrice de l'air ambiant le conducteur assez long qui reliait la plaque isolée à l'électromètre.

Nous savons en effet, aujourd'hui, que cet air renferme des ions à l'état libre, susceptibles d'amener des charges électriques par convection sur les conducteurs qui y sont plongés. Il convient donc de maintenir l'appareil tout entier dans une cage de Faraday dont l'intérieur se trouve, de ce fait, entièrement privé d'ions libres.

M. Brunhes donne la description suivante de l'appareil qu'il utilisa dans ses récentes recherches (Revue Scientifique, 17 mars 1906).

« Nous avons eu recours pour toutes les mesures où il a fallu transporter l'appareil, à l'appareil d'Elster et Geitel; dans un certain nombre d'observations effectuées

au Puy-de-Dôme même, à l'électromètre de Curie, beaucoup plus sensible, mais par contre peu transportable. Je rappelle que l'électromètre d'Elster et Geitel est un électroscope à feuilles d'aluminium, dont les deux feuilles pendent à droite et à gauche d'une lame plate et verticale de laiton; la lame porte à sa partie inférieure un prolongement cylindrique en laiton qui s'implante dans un fort bouchon d'ébonite. En haut, elle se termine par une petite boule percée d'un trou conique. Au-dessus de cette boule, la cage de l'appareil présente une ouverture qu'on peut fermer par un couvercle.

» Quand on veut se servir de l'appareil on ôte le couvercle, et on implante dans la boule qui surmonte la plaque une tige surmontée d'un cylindre fermé et creux de 5 centimètres de diamètre sur 9 centimètres de haut. On le touche avec un des pôles d'une pile sèche en tenant la pile par l'autre pôle qu'on met ainsi au sol. Les feuilles divergent, et on note de moment en moment leur écart sur une petite échelle collée sur l'une des vitres de la cage.

» L'appareil avec le corps de dispersion, la pile et les accessoires, est enfermé dans une boîte cubique munie d'une bretelle qui en permet le transport et qui peut, en un lieu quelconque, servir de support à l'appareil...

» Dans toute l'étendue de l'échelle, une division d'écart correspondait à peu près à 6 volts; la graduation en volts était d'ailleurs faite une fois pour toutes. »

D'autres recherches furent effectuées à l'aide de l'électromètre Curie.

» Le manchon protecteur du condensateur-plan était enlevé, et on ne conservait que le plateau supérieur relié à la lame verticale qui porte la feuille mince d'or ou d'aluminium. C'est par ce plateau que s'opérait la déperdition. On suivait à la lunette la décroissance de l'écart de la feuille; les divisions sont ici beaucoup plus

nombreuses ; on a 200 divisions d'échelle dans la région utile, le zéro correspondant à un potentiel de l'ordre de 200 volts et la division 200 à un potentiel de l'ordre de 400 volts.

» Chaque division correspond à une variation de potentiel qui peut dépendre de la feuille employée, mais qui reste de l'ordre de grandeur de 1 volt. »

DISPOSITIF EMPLOYÉ POUR L'ÉTUDE DE L'INDUCTION SOLAIRE

Dans mes recherches récentes, j'ai adopté le dispositif suivant.

Une grande caisse en bois D pourvue d'un couvercle latéral démontable était doublée intérieurement de toile métallique. Ce revêtement conducteur était destiné à former une cage de Faraday, par sa réunion conductrice avec le sol.

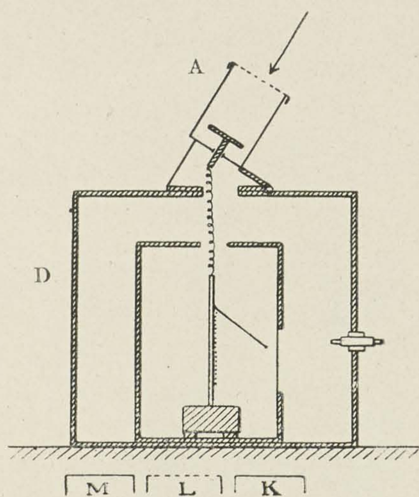
A la partie supérieure de la caisse on disposait un cylindre métallique A dont le haut était ouvert.

Ce cylindre, de petites dimensions, pouvait être orienté sur un pied mobile à double joint. Un tube en ambre jaune traversait le fond du cylindre et y était maintenu en place à l'aide de deux rondelles en os filetées qui pouvaient se visser sur ce tube d'ambre.

Un petit disque de 5 centimètres de diamètre, en plomb bien décapé, était fixé à l'intérieur du cylindre à l'aide du tube d'ambre. Un fil de cuivre isolé par de la soie paraffinée était soudé au disque de plomb et sortait à la partie inférieure du cylindre.

Une feuille de plomb permettait de fermer entièrement la partie libre comprise entre le fond du cylindre et la caisse, afin d'isoler le conducteur de l'air extérieur.

La partie supérieure du cylindre métallique pouvait être fermée à volonté par l'un des trois couvercles sui-



D, caisse en bois doublée de toile métallique. — A, cylindre métallique ouvert par le haut. — K, L, M, couvercles.

vants : le couvercle K était en métal, le couvercle L en tissu métallique serré, et le couvercle M en carton noir paraffiné.

Ces différents couvercles nous ont permis d'analyser les causes diverses d'électrisation qu'on observa dans ces essais.

Le fil métallique soudé au disque de plomb isolé, était relié à l'électromètre disposé dans la caisse en bois. Cet électromètre eût pu être choisi d'un système quelconque, tel que ceux d'Elster et Geitel, de Curie, etc., mais j'employais un électromètre assez simple qui m'avait déjà donné de bons résultats dans des recherches sur la radioactivité des sources thermales.

Il se compose d'une caisse en zinc prismatique percée de fenêtres latérales fermées par des feuilles de mica, dont la partie supérieure portait une ouverture assez large. Une porte latérale permettait d'introduire dans la caisse un électroscope à feuille d'aluminium unique, isolé sur de la paraffine, de l'ébonite et des pieds en ambre.

La lame métallique verticale sur laquelle s'écartait la feuille d'aluminium, sous l'action de la charge électrique, portait une bande de papier divisée. Une lunette fixée dans l'une des parois latérales de la caisse, permettait de viser la tranche de la feuille d'aluminium, en même temps que les divisions de l'échelle correspondante.

Ce mode de lecture, suivant le plan de la feuille était applicable, parce que l'électromètre avait une charge suffisante, de 1500 volts environ, pour permettre à la feuille de dévier de 45°. L'isolement de l'appareil était parfait, afin d'éviter toute perte de charge par les supports.

L'ambre bien desséché nous a donné les meilleurs résultats comme isolant, d'autant plus qu'il était nécessaire d'employer dans le cylindre, exposé directement

aux radiations solaires, une substance parfaitement isolante conservant toute sa rigidité à la température relativement élevée à laquelle on la soumettait sous l'action des radiations solaires. La paraffine se ramollissait et fondait, l'ébonite ou le verre même gommelaqué, n'étaient pas suffisamment isolants. L'électromètre était préalablement chargé à l'aide d'une petite machine électrostatique par l'intermédiaire d'une petite sphère en laiton isolée par un manche en verre gommelaqué. Le sens de la charge communiquée à l'électromètre était vérifié chaque fois à l'aide d'un petit électroscope témoin, constamment chargé d'électricité positive.

Les essais consistaient à amener, par des tâtonnements successifs, la tranche inférieure de la feuille métallique à coïncider avec l'une des divisions de l'échelle choisie arbitrairement. La division 250 avait été prise comme repère supérieur, parce qu'elle correspondait à l'inclinaison de 45° de la feuille, la plus favorable à l'observation de l'appareil. On observait ensuite avec la lunette la chute plus ou moins rapide de la feuille jusqu'à un point de repère inférieur qui correspondait à la division 400. L'intervalle compris entre 350 et 400 était équivalent à une décharge de 100 volts.

Un chronomètre disposé près de la lunette permettait de déterminer le nombre de secondes écoulées dans le passage successif de la feuille d'aluminium de la division 350 à la division 400.

Comme les charges induites étaient sensiblement proportionnelles aux temps de décharge de l'électromètre, on pouvait de cette façon mesurer avec une rigueur suffisante la grandeur relative de ces charges.

Toutes les observations étaient, du reste, faites dans des conditions expérimentales identiques, de façon à être parfaitement comparables entre elles. C'était toujours une chute de 350° à 400° sur l'échelle, que l'on

cherchait à obtenir avec une charge préalable de l'électromètre, tantôt positive, tantôt négative.

L'appareil que nous venons de décrire ne donnait que des mesures relatives, sa sensibilité était grande grâce à la haute charge préalable qu'on lui communiquait.

Avec le dispositif que nous avions utilisé en 1885, le potentiel de charge préalable de l'électromètre était de l'ordre du volt ; aussi n'obtenions-nous des charges solaires de 100 volts environ que dans un temps de 10 à 15 minutes.

M. Brunhes a constaté que des charges de 100 volts dues au Soleil ne se manifestaient qu'après 35 à 45 minutes sur des électromètres dépourvus de toute charge préalable.

Au contraire, avec notre nouveau dispositif, en employant un potentiel de charge préalable de 1500 volts environ, on observait une charge due au Soleil, égale à 100 volts dans un temps beaucoup plus rapide, variant suivant les circonstances entre 15 et 20 secondes seulement.

Nous avons pu effectuer avec le même dispositif quelques observations en dehors de notre poste habituel. Tout le matériel d'observation, électromètre, cylindre, lunette, électroscope, chronomètre, appareil de charge, était emballé dans la caisse. On fermait celle-ci avec son couvercle et une double bretelle permettait d'effectuer facilement le transport de ce petit colis peu fragile, jusqu'au nouveau lieu d'observation.

Nous avons constaté qu'il était nécessaire d'exposer l'appareil ouvert en plein soleil pendant une dizaine de minutes avant de s'en servir, afin d'en dessécher complètement tous les organes et d'assurer ainsi son isolement parfait, qu'il convenait, du reste, de vérifier avant chaque série d'observations. Dans ce but, nous nous assurions que la feuille d'aluminium ne subissait

qu'une faible chute dans l'espace de dix minutes environ, quand l'appareil était clos.

Nous avons pu effectuer une centaine d'observations avec cet appareil dans la période comprise entre le 15 avril et le 20 juillet 1906. Ces observations, quoique bien incomplètes encore, nous ont permis de tirer quelques déductions nouvelles que nous résumerons après avoir cité à titre d'exemples quelques-unes de ces observations.

QUELQUES RÉSULTATS D'OBSERVATIONS

Le *27 mai 1906*, après une série de journées pluvieuses avec ciel couvert, le temps s'était mis à la chaleur avec tendance orageuse. La température était montée à 25° C., et l'hygromètre marquait 0,30. Le vent soufflait du sud-ouest. L'atmosphère, très pure, était parsemée de légers cirrus.

L'électromètre étant chargé négativement suivant les précautions indiquées précédemment, le cylindre était exposé découvert aux rayons solaires directs. Il était 1 h. 15 de l'après-midi. La décharge s'effectua dans l'espace de 45 secondes. Ce fait indiquait que l'ionisation positive, due aux rayons solaires, dissipait en 45 secondes, une charge négative de 100 volts dans les conditions de l'expérience. Avec l'électromètre chargé positivement, la décharge en plein soleil était insensible et de l'ordre de celle constatée à vide quand le cylindre était fermé à l'aide du couvercle en métal.

30 mai 1906. — La journée du 29 mai avait été orageuse, le thermomètre marquait 26° C. à 8 h. 20 du matin, et l'hygromètre 0,32. Le ciel d'abord légèrement nébuleux devint progressivement plus limpide. L'appareil fut orienté vers le ciel, du côté de l'Orient, de façon à éviter l'action directe du Soleil sur la plaque

isolée. On observa une charge positive correspondant à 100 volts dans l'espace de 4 m. 15 s. A 9 h. 15 du matin la charge positive produite par l'atmosphère était égale à la précédente. A 10 h. 15 le ciel se couvrait de légers cirrus. En maintenant le cylindre ouvert devant le Soleil dégagé des nuages, on observait des charges positives correspondant successivement à 100 volts en 55 secondes, en 1 m. 30 s., en 1 m. 20 s., en 1 minute et en 5 minutes. Il se produisait du reste des variations importantes de la décharge dans ces diverses observations. La charge accusée en dernier lieu était la somme de celles produites par le Soleil et par l'atmosphère, la première étant sensiblement supérieure à la seconde.

Le *15 juin*, à la suite de journées chaudes et orageuses, la température avait été ramenée à 20° C.; l'état hygrométrique était de 0,25; la pression barométrique de 756 millimètres. Le vent soufflait du nord, et le ciel renfermait de légers cirronimbus. A 11 h. 15, l'appareil disposé devant le Soleil, quelques nuages se trouvant dans son voisinage, l'on constata à plusieurs reprises une charge positive dans l'espace de 55 secondes.

L'appareil fut ensuite orienté vers une région du ciel opposée à celle qu'occupait le Soleil, et l'on observa une charge positive dans l'espace de 2 m. 30 s., c'est-à-dire très sensiblement inférieure à la précédente. Cette dernière provenait de la juxtaposition des deux charges différentes. En recouvrant le cylindre du couvercle en papier noir paraffiné, et en maintenant l'appareil orienté dans la même direction la charge positive s'effectuait en 2 m. 45 s. A 1 heure de l'après-midi, la charge positive due au Soleil se fit plus lentement, en 1 m. 25 s., puis en 1 m. 30 s. au lieu de 55 secondes comme le matin. En orientant le cylindre vers l'Est en

dehors de l'action solaire, l'électromètre n'accusa plus aucune charge sensible.

Le *27 juin*, après plusieurs journées très chaudes, avec vent de nord-est, la girouette s'orienta vers le sud-ouest. La température était de 28° C. à l'ombre et l'hygromètre accusait 0,30. Quelques nuages isolés traversaient le ciel. A 11 h. 45, l'appareil fut mis en observation devant le Soleil, quelques nuages se trouvaient dans son voisinage. La charge positive se fit en 45 secondes.

Les nuages passèrent alors devant le disque solaire, puis le découvrirent par intermittence. La charge positive ne se produisit plus qu'en 1 m. 30 s. Bientôt les nuages devenant plus abondants, le Soleil ne les perçait qu'à de rares intervalles, et la charge positive exigeait 4 minutes pour se produire. A 1 h. 15, le temps étant devenu orageux, de gros cumulonimbus de teinte foncée recouvrirent le disque solaire pendant un temps assez prolongé. Ces nuages produisirent une charge positive très prononcée, s'effectuant en 30 secondes, c'est-à-dire identique à celle produite par le Soleil. Des cumulostratus venant à passer devant le Soleil, à intervalles assez rapprochés, la charge exigea 1 m. 30 s. pour se produire. Et il fallut 4 minutes pour obtenir la même charge quand l'accumulation des nuages ne permit plus aux rayons solaires de ne paraître qu'à de courts intervalles.

A 1 h. 15, le temps était devenu orageux, et d'épais nuages de couleur foncée ne laissaient plus percer le soleil qu'à de très courts instants. La charge positive induite par ces nuées orageuses s'effectuait en 30 secondes.

En modifiant l'orientation de l'appareil vers le ciel, la charge positive correspondait encore à 30 secondes. En le ramenant vers le Soleil, pendant une courte période d'éclaircie, on constata une charge positive en

20 secondes seulement. Il est probable que la charge induite par les nuées orageuses voisines contribua à cette charge élevée.

En fermant brusquement le cylindre à l'aide d'un couvercle en métal, on observa une charge très rapide de 10°, puis un arrêt subit de celle-ci. On provoquait un effet analogue par l'interruption de la charge solaire ou de la charge des nuages. Il semble que ce résultat indique une certaine inertie électrique de la part de l'appareil provenant probablement de sa capacité électrostatique assez élevée et de l'inertie de la feuille métallique.

Le *17 juillet 1906*, plusieurs groupes de taches étaient apparus sur le bord du disque solaire huit jours auparavant; le temps était très clair, et le ciel bleu sans nuage. Malgré cette limpidité parfaite de l'atmosphère, les observations effectuées en plein soleil indiquèrent des modifications très rapides dans la valeur de la charge positive communiquée par le Soleil.

A 11 h. 45 du matin, la charge positive due au Soleil s'effectuait en 4 minutes. Elle se produisait ensuite en 1 m. 30 s., puis en 45 secondes quelques minutes plus tard. A midi, le ciel ne produisit aucune charge sensible en dehors de l'action solaire.

A 1 h. 15, la charge solaire fut très rapide, puis elle s'arrêta brusquement, reprit, et s'arrêta encore à plusieurs reprises.

CHARGES INDUITES PAR L'ATMOSPHÈRE

Nous avons déjà constaté dans quelques-unes des observations précédentes, des charges induites par l'atmosphère seule en dehors de l'action directe du Soleil; nous allons en citer d'autres faites dans le but d'étudier ce phénomène particulier.

Le *29 mai*, à 8 h. 15 du matin, on constatait une charge positive due à l'atmosphère seule, s'effectuant en 4 minutes.

Le *7 juin*, à 9 h. 30 du matin, la charge induite par l'atmosphère avait changé de signe, elle était négative, et s'effectuait en 30 secondes. A 5 h. 1/2 du soir, elle était encore négative et se faisait en 1 m. 40 s.

Le *8 juin*, la charge induite par l'atmosphère était nulle. Le *15 juin*, elle était positive et s'effectuait en 2 m. 30 s. Au travers du couvercle en carton noir paraffiné posé sur l'appareil, la charge s'effectuait en 2 m. 45 s. Le même jour, à une heure, la charge due à l'atmosphère devenait nulle.

Le *16 juin*, à 9 heures du matin, la charge de l'atmosphère était positive et se faisait en 2 m. 15 s. L'appareil était clos avec un carton noir paraffiné, la charge se produisait en 2 m. 35 s. et si on le fermait avec un couvercle en toile métallique, elle devenait insensible.

Nous avons signalé déjà les effets produits par le passage des nuées orageuses devant le Soleil — au cours des observations du 27 juin. Le *17 juin*, nous avions pu également étudier cette action des nuages. Le temps était orageux et le vent soufflait du sud-ouest, le passage d'une nuée orageuse devant le disque solaire se manifesta par une forte charge positive, s'effectuant en 40 secondes, c'est-à-dire avec une rapidité comparable à celle de l'action du Soleil.

RÉSUMÉ DES FAITS OBSERVÉS

L'ensemble des résultats que nous avons constatés et dont nous venons de donner un rapide aperçu peut être résumé comme suit :

1° Le Soleil produit au voisinage du sol une induction électrique positive de grandeur variable.

2° Cette induction peut être mise en évidence quand l'appareil est directement exposé aux radiations solaires, ou bien encore quand il est clos par une substance diélectrique opaque, telle que le papier noir paraffiné.

On constate, au contraire, que la charge induite par le Soleil est interceptée, quand l'appareil est clos à l'aide d'un couvercle métallique ou en tissu métallique constituant tous deux des écrans électriques.

L'interposition des nuages devant le Soleil arrête également l'induction solaire.

3° Cette induction ne se manifeste que pendant les journées où le ciel est clair et l'atmosphère peu chargée de vapeur d'eau. Elle ne se produit pas d'une façon sensible avant 9 heures ou 10 heures du matin, et elle atteint généralement un maximum vers 1 heure ou 2 heures de l'après-midi.

4° Si l'ouverture du cylindre de l'appareil est dirigée vers une région du ciel différente de celle occupée par le Soleil et si l'atmosphère est pure et sans nuages, on constate une charge électrique due à toute la colonne d'air comprise entre l'appareil et les régions supérieures de l'atmosphère. La grandeur et le signe de cette charge varient avec les circonstances. Elle est le plus souvent positive, mais elle peut être nulle ou négative. Sa grandeur et son signe sont du reste susceptibles de se modifier dans un temps assez court.

5° La charge induite par les nuages est aussi de signe et de grandeur variables. Elle atteint parfois une valeur supérieure à celle qui est due à l'induction solaire, surtout quand le temps est orageux.

6° La charge *actinoélectrique* provoquée par l'action des radiations lumineuses du Soleil sur le disque

métallique est positive mais négligeable vis-à-vis de celle qui est produite par les actions précédentes; elle est de l'ordre de 2 volts environ. On la met en évidence, à l'aide du couvercle en tissu métallique qui laisse passer la lumière du Soleil et intercepte son action inductive.

7° La grandeur de la charge positive provoquée par l'induction solaire varie parfois brusquement sans cause apparente, surtout pendant les périodes d'activité solaire.

8° L'observation et la mesure de chacune des causes d'électrisation superposées à l'action du Soleil permettent d'apprécier la part qui revient à chacune d'elles dans l'effet total.

Quelle interprétation convient-il de donner à ces faits d'observation?

Comment le Soleil produit-il une induction positive à la surface de la Terre et quelle est l'origine de cette induction?

Nous devons avouer qu'aucun fait ne nous permet encore de donner une réponse précise à ces questions. Nous en sommes réduits aux conjectures! L'analogie avec les faits connus nous suggère deux hypothèses.

Le Soleil peut rayonner dans l'espace des ions positifs ou rayons α dont quelques-uns seraient refoulés depuis la haute atmosphère jusqu'aux couches profondes de cette atmosphère. L'électrisation due à ces ions serait recueillie par la plaque métallique isolée qui est utilisée dans les essais et lui communiquerait une charge positive. La vitesse de translation de ces rayons α dans l'espace serait, par analogie avec les faits connus, très sensiblement inférieure à celle des rayons lumineux. Il y aurait donc à chaque instant un retard important des premiers sur les seconds. L'effet de ce retard se manifesterait chaque fois qu'un écran peu éloigné de la surface de la Terre, un nuage par exemple, couvrirait ou découvrirait le

Soleil. Un fait semblable a été précisément observé par M. Brunhes, sans qu'aucune explication en ait encore été donnée. L'effet constaté consistait en une brusque et légère diminution de la charge due au Soleil, immédiatement avant le passage d'un nuage devant le disque solaire, et dans un faible accroissement de la charge avant la disparition complète du nuage.

Ce fait semblerait également s'accorder avec celui observé par Ricco, consistant dans un retard de la vitesse de propagation de l'action solaire sur la Terre, dans l'action des taches solaires sur le magnétisme terrestre. La vitesse calculée par Ricco, pour la vitesse de propagation de cette action solaire serait égale à 923 kilomètres à la seconde, soit 335 fois moindre que celle de la lumière (COMPTES RENDUS DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES, août 1892, t. 2, p. 596).

Si je n'ai pu vérifier le fait intéressant observé par M. Brunhes, il faut l'attribuer sans doute au défaut de sensibilité de mon appareil. Tout ce que j'ai observé, c'est un retard appréciable dans l'établissement de la charge sous l'action solaire ou sous l'influence de l'atmosphère et des nuages, quand le cylindre était brusquement fermé à l'aide d'un couvercle métallique. Mais ce retard semblait provenir de l'inertie de la feuille métallique et de la capacité électrique assez élevée de l'appareil.

D'ailleurs les nuages possèdent souvent une charge électrique de signe variable. Il peut donc se faire qu'un nuage chargé négativement provoque en s'approchant du disque solaire un abaissement de la charge fournie par le Soleil avant la suppression de sa lumière directe par ce nuage; plus tard, quand le disque solaire se dégagera de nouveau, l'inertie de l'appareil ne lui permettant pas d'acquérir brusquement le potentiel dû

au Soleil, on conçoit qu'un léger retard doive encore se manifester dans la charge.

En admettant même que le fait signalé par M. Brunhes et par Ricco, soit effectivement dû à la faible vitesse de transmission de l'action solaire, il ne serait pas nécessaire d'avoir recours aux rayons α pour l'expliquer. On sait, en effet, que le flux d'induction possède à travers l'éther une vitesse de transmission égale à celle de la lumière et de la chaleur, mais l'on sait également que lorsque ce flux traverse des milieux hétérogènes successivement isolants puis doués d'une certaine conductibilité, comme ceux de notre atmosphère, il y provoque des effets de charge qui ont pour résultat d'amener un retard dans sa vitesse de transmission, retard qui suffirait à expliquer sa faible vitesse relative, si réellement les effets constatés proviennent d'un flux d'induction. Aux retards précédents pourraient s'en ajouter d'autres, dus à la présence des milieux interposés entre la surface solaire et l'atmosphère terrestre, tels que ceux signalés par Zenger.

Quoi qu'il en soit, le fait signalé par M. Brunhes est très intéressant en lui-même, et mériterait d'être étudié de plus près.

Toutefois nous ne croyons pas que la théorie de *l'émission continue d'ions positifs* de la surface solaire vers la Terre puisse être maintenue, pour les raisons que nous avons précédemment exposées. A plus forte raison devons-nous rejeter la théorie cathodique qui ne concorde pas avec le fait indiscutable de la charge positive induite par le Soleil, mais nous ne rejetons pas, *à priori*, l'hypothèse des émissions successives, et de courte durée, d'ions négatifs et d'ions positifs, du Soleil sur la Terre.

Une seconde hypothèse consisterait à admettre l'existence d'une charge positive à la surface du globe solaire, et ceci nous paraît plus vraisemblable et mieux

d'accord avec les faits observés. Nous venons de voir que cette hypothèse ne serait nullement opposée au fait de la faible vitesse relative de l'action solaire à la surface de la Terre. Nous avons constaté des charges électriques souvent très élevées au fond de l'atmosphère terrestre, malgré l'interposition entre le Soleil et l'appareil qui reçoit son action, de couches d'air supérieures très raréfiées et conductrices de l'électricité, et malgré l'interposition des couches d'air inférieures rendues elles-mêmes peu isolantes par la vapeur d'eau. Si ces charges recueillies sont dues à l'action inductrice du Soleil, il faut en conclure que la charge électrique de cet astre doit être considérable pour pouvoir se manifester en dépit de ces obstacles. Nous n'avons, il est vrai, aucun moyen d'en fixer la valeur, mais il est permis d'espérer qu'on pourra la déterminer un jour, comme on a pu apprécier au moins approximativement la température du Soleil.

A la charge positive de la surface extérieure du globe solaire, devrait nécessairement correspondre une charge négative équivalente des couches internes. Ces deux charges contraires pourraient provenir d'ionisations intenses de la matière dont est composé le Soleil. Lorsque la combinaison de ces ions se reproduirait au travers des couches supérieures de l'atmosphère solaire, elle s'accompagnerait d'effets électriques, magnétiques et mécaniques proportionnels en puissance aux masses électriques mises en jeu, et l'on concevrait que ces orages solaires fussent le point de départ des grandes perturbations que nous observons dans le Soleil sous des formes lumineuses et calorifiques.

D'autre part, les variations momentanées que ces orages produiraient dans la grandeur de la charge positive extérieure au Soleil auraient leur contre-coup sur le monde planétaire tout entier, et en particulier sur

la Terre; si toutefois il est vrai que cette charge positive du Soleil a pour effet d'induire une charge négative à la surface de l'atmosphère terrestre en même temps qu'une charge positive égale se trouve refoulée dans les régions profondes de l'atmosphère. De fait, les grandes perturbations électriques du Soleil que nous observons sous la forme de taches, facules, protubérances, et que Zenger a cru constater par la photographie, ont toujours pour résultat de produire sur la Terre des orages magnétiques accompagnés de violents bouleversements de l'atmosphère et montrent bien l'étroite relation qui existe entre l'influence solaire et les perturbations électriques de notre planète. C'est ainsi que nous avons pu constater pendant une période de taches solaires, en juillet dernier, des variations souvent très brusques dans la charge induite par le Soleil. Ces variations étaient peut-être fortuites, mais il semble au moins singulier qu'elles se fussent manifestées avec une intensité toute particulière précisément au cours de cette période de grande activité solaire.

Il est, du reste, probable que l'atmosphère terrestre joue un rôle important dans les variations du potentiel solaire à la surface du sol; aussi conviendrait-il de reprendre ces études, pendant les périodes d'activité solaire sur de hautes montagnes où l'action perturbatrice due aux couches profondes de l'atmosphère serait atténuée. La nécessité de pareilles recherches ressort des observations que nous avons rapportées plus haut, où nous avons vu qu'il fallait s'assurer de la valeur de la charge provoquée par l'air et par les nuages, avant d'apprécier celle due à l'induction solaire seule.

Ce n'est pas sans surprise que nous avons constaté au cours de nos observations, que la charge due à l'action inductrice de l'atmosphère pouvait être de signe variable ou même nulle. Nous avions pensé, *à priori*, que cette charge serait toujours positive avec des

valeurs variables, Mais si l'on réfléchit que l'effet global observé est le résultat d'une sorte d'intégration des actions inductrices partielles dues à l'ensemble des couches d'air espacées entre l'appareil et la limite supérieure de l'atmosphère, on comprend la possibilité de ces variations, et de leur changement de signe. Sans doute les couches d'air les plus voisines de l'appareil possèdent en général les charges les plus faibles, mais leur rapprochement accroît leur action relative. Il se peut cependant que cette action soit parfois neutralisée par une autre opposée qui serait provoquée par des couches d'air plus élevées et plus chargées que celles-ci; sans compter que les couches profondes peuvent ne posséder aucune charge sensible, et que l'action inductrice des couches supérieures reste, dès lors, seule appréciable.

L'effet résultant ne fournit donc aucun renseignement intéressant sur l'état électrique particulier des diverses couches de l'atmosphère. Il n'a en réalité d'importance, dans le cas actuel, que pour préciser l'action propre due au Soleil.

UTILITÉ QU'IL Y AURAIT A POURSUIVRE L'ÉTUDE DE CES PHÉNOMÈNES

Une étude méthodique et complète de l'induction solaire ne pourrait être faite qu'à l'aide d'appareils enregistreurs qui conserveraient la trace des phénomènes signalés précédemment, en inscrivant par la photographie les charges produites simultanément par l'induction solaire, par l'atmosphère et par les nuages.

Nous pouvons nous imaginer la forme générale d'un tel enregistreur.

L'extrémité inférieure de la feuille d'aluminium de l'électromètre soumis à l'action directe du Soleil serait

munie d'une petite surface très brillante qui réfléchirait dans une direction déterminée l'image d'un point lumineux fixe. Cette image serait projetée sur une feuille de papier photographique qui se déroulerait lentement comme dans les enregistreurs habituels; deux électromètres semblables aux premiers inscriraient les charges électrostatiques positives et négatives dues à l'atmosphère seule par deux courbes juxtaposées à la première sur le papier photographique. Une troisième courbe fournie par l'image réfléchie du Soleil, en lumière très atténuée, permettrait d'apprécier l'état du ciel devant le Soleil, par comparaison avec des spécimens spécialement étudiés à l'avance. Un mécanisme d'horlogerie produirait, à intervalles réguliers, la recharge des électromètres à l'aide d'une pile sèche.

L'examen comparatif des quatre courbes donnerait les indications suivantes en valeur relative. L'induction due au Soleil, celle de l'atmosphère, celle des nuages passant devant le disque solaire, enfin l'induction due aux nuages passant devant les appareils dirigés vers les régions de l'atmosphère différentes de celle occupée par le Soleil. On pourrait ainsi comparer ces résultats à ceux de l'examen optique ou thermique de la surface solaire. Cette étude devrait être poursuivie régulièrement dans divers observatoires à la fois, et il serait utile de la compléter pendant les périodes de maxima ou de troubles solaires par des observations en montagne ou dans des régions favorisées, telles que les hauts plateaux du Sud-Algérien, à l'aide d'appareils facilement transportables.

L'électromètre dont nous venons de parler pourrait encore être remplacé par le nouvel électromètre à quadrant transportable avec enregistrement photographique d'Ester Geitel et (PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT, 15 juillet 1906).

A. NODON,
Docteur ès Sciences

(A suivre.)

ONTOGÉNÈSE ET PHYLOGÉNÈSE [1]

II

§ 1. *Cellule-œuf*. — Toute ontogénèse débute par un stade unicellulaire : la cellule-œuf, fécondée ou non d'après les cas. Nous éprouvons quelque étonnement à voir Weismann attacher tant d'importance à ce fait pour la justification de la « loi biogénétique ». « J'accorde, écrit-il, qu'on a souvent tiré ces conclusions (phylogénétiques) avec un peu trop d'assurance; mais alors même qu'on ne reconnaîtrait pas un fondement solide aux vues de Haeckel, lorsqu'il retrouve dans l'ontogénèse humaine 14 stades ancestraux différents, un stade protiste, un stade gastréade, des stades prochordate, acranien, cyclostome, poisson, etc., on doit pourtant avouer que les stades unicellulaires de l'ontogénèse, par lesquels débute, aujourd'hui encore, le développement de chaque homme, reproduisent sans aucun doute l'aspect, fortement modifié il est vrai, d'un ancêtre : *car il faut bien que nous soyons descendus d'êtres unicellulaires*. Tout l'essentiel de ce stade ancestral est donc conservé en réalité dans l'ontogénèse : seules les particularités en quelque sorte accidentelles, c'est-à-dire l'adaptation spéciale à certaines conditions d'existence, furent sujettes à transformations (2). »

Il est heureux que l'hypothèse de l'évolution ait à son actif d'autres arguments que celui-ci, car on peut ima-

(1) Voir la Revue des Quest. scient., janvier 1907, p. 174.
(2) A. Weismann, *Vorträge*, usw., Bd. II, pp. 197-198.

giner toutes sortes de bonnes raisons pour que le développement embryonnaire débute plutôt par une seule cellule que par un groupe de cellules, *quels que soient d'ailleurs les antécédents ancestraux de l'embryon*. Du reste, Weismann fonde le rapprochement biogénétique entre les divers stades unicellulaires sur une petite phrase que lui-même a pris la peine de souligner : *von Einzelligen müssen wir abstammen*. Ce bout de phrase implique non seulement le postulat général de l'évolution, mais le postulat plus spécial d'une évolution universelle aux dépens des formes unicellulaires. Or, *admis même ce second postulat*, on pourrait encore se demander si la conservation d'un stade monocellulaire au début de chaque ontogénèse n'est pas une nécessité de l'ontogénèse elle-même beaucoup plus qu'un rappel d'une très lointaine forme ancestrale.

Puis, il importe ici de ne pas se laisser illusionner par l'unité apparente de la dénomination « stade monocellulaire » : cette unité n'est guère plus étroite que celle *du concept de cellule lui-même*. Tous les cytologistes savent parfaitement que, même par leurs caractères micrographiques observables, les œufs, pour la plupart, ne ressemblent que de très loin à une amibe ou à un organisme de ce genre; ils savent aussi combien diffèrent les aspects des différents œufs ; souvent même ils distingueront à première vue sous le microscope des œufs appartenant à des espèces très voisines : distribution diverse des filaments du noyau, aspect spécial des nucléoles, du deutoplasme, du follicule, etc., autant d'indices différentiels qui n'échappent pas à quiconque est un peu familiarisé avec cette sorte d'objets.

Que si nous examinons maintenant, non plus la forme extérieure des œufs, mais l'ensemble de virtualités morphologiques qu'ils représentent, les différences s'accentuent singulièrement. Supposé — ce qui nous

paraît d'ailleurs plus que douteux — que ces virtualités reposent sur des particularités locales de structure interne, un œil assez pénétrant pour les observer retrouverait dans les cellules-œufs toutes les subdivisions de la classification des types organiques. Et telle est une des principales raisons qui empêchent le Pr Hertwig de voir dans l'ontogénèse une véritable « récapitulation » de stades phylogénétiques.

Au vrai, n'en déplaise à Weismann, si la ressemblance entre les formes ancestrales et les stades embryonnaires se bornait à la phase unicellulaire de ceux-ci, la « loi biogénétique » serait, certes, la plus arbitraire des fictions. Mais, outre cette première conséquence toute relative, les remarques que nous venons de faire sur le caractère purement abstrait de l'unité des stades monocellulaires entraînent *une autre conséquence,* assez importante au point de vue phylogénétique. Nous en emprunterons l'expression à Osk. Hertwig : « De même que (dans l'interprétation de la loi biogénétique) nous nous écartons de la conception la plus en faveur à l'heure actuelle, de même aussi nous en écartons-nous dans la question de la descendance commune de tous les organismes à partir d'un seul type cellulaire initial. A les considérer en gros, les théoriciens de la descendance inclinent encore plus ou moins, dans leurs spéculations, vers l'hypothèse d'un arbre généalogique *monophylétique* du règne animal, sinon du règne organique tout entier. Et ils appuient leurs hypothèses principalement sur ce fait que toutes les espèces organiques passent, dans leur développement, par un stade unicellulaire. Pourtant, il ne faudrait pas si grand effort pour montrer combien les déductions de ce genre sont peu démonstratives, et pour établir qu'entre l'hypothèse d'une descendance monophylétique et celle d'une descendance polyphylétique, le choix

doit se décider pour la seconde (1). » En effet, dans la supposition — faite par la plupart des évolutionnistes radicaux — d'une génération spontanée de formes vivantes simples durant les périodes géologiques, tenu compte, de plus, de l'extrême variété des formes cellulaires possibles et de l'infinité de combinaisons que peuvent réaliser les chaînons de leurs si complexes molécules constitutives, « qu'est-ce donc qui pourrait bien nous *imposer* cette hypothèse éminemment invraisemblable, que notre planète, à une époque reculée de son histoire, n'aurait été peuplée que par *une seule espèce* de cellules? Si la nature a le pouvoir d'édifier tant d'espèces différentes d'hydrates de carbone, de graisses, de protéines, etc., pourquoi, dès qu'il s'agit de la production de cellules, aurait-elle lié son pouvoir à la formation d'une seule espèce de celles-ci, alors pourtant que la cellule est une forme de la vie susceptible non seulement d'un grand nombre, mais d'une infinité de variétés? Dans cet ordre d'idées, *le polyphylétisme revêt, au regard du monophylétisme, la plus grande somme de probabilités* » (2).

On voit donc que, même au point de vue d'un évolutionnisme assez radical, les lignées ancestrales des espèces actuelles pourraient fort bien ne pas se rejoindre en un tronc unique, mais constituer un nombre, peut-être considérable, d'arbres généalogiques indépendants, bien que parallèles. De plus, Hertwig remarque avec justesse que, ne sachant absolument rien des conditions expérimentales ni de l'époque de production des cellules initiales, nous sommes incapables de rien préjuger sur la longueur absolue ou même relative des chaînes généalogiques. Toutes les cellules initiales ont-elles surgi en même temps de la matière inorganique? Ont-elles plutôt fait leur apparition à des époques diverses? Mystère actuellement impénétrable.

(1) Hertwig, *op. cit.*, p. 164.
(2) Id., *ibid.*, p. 165.

Mais alors, *que vaut objectivement l'introduction du point de vue génétique dans l'homologie?* Que signifient au juste ces lignées ancestrales laborieusement échafaudées au moyen des homologies d'organes et des similitudes embryonnaires? Plus ces lignées se perdent dans le passé, plus il y a chance que les formes-types qui les jalonnent proviennent de souches différentes et n'aient entre elles aucun lien de parenté physique. Dans combien de cas les similitudes apparentes ne sont-elles que l'effet d'une sorte de convergence morphologique, due à l'influence de certaines lois générales de développement ou à des adaptations similaires? Nous ne prétendons aucunement répondre à ces questions, mais *le fait seul qu'elles se posent* est instructif, car il permet de toucher du doigt la difficulté d'apprécier à leur valeur objective quelques artifices méthodologiques qui sont d'emploi courant.

§ 2. *Premiers stades embryonnaires.* — La plupart des considérations qui viennent d'être faites à propos de la cellule-œuf se pourraient répéter à propos des premiers stades de l'ontogénèse.

Nous avons déjà appelé l'attention sur ce fait que la blastula, la gastrula, la neurula, et les stades voisins, sont loin d'offrir le même aspect chez tous les sujets qui les réalisent : l'unité introduite par les embryologistes repose en bonne partie sur une élaboration de la définition même de ces stades; élaboration parfaitement légitime, mais qu'il importe de ne point perdre de vue si l'on tient à ne pas s'exagérer la portée de certaines formules d'homologie.

Dès la blastula ou la gastrula, le jeu des « adaptations embryonnaires » prend une importance considérable. L'abondance et la distribution du vitellus de l'œuf nécessitent des modifications assez profondes des formes ontogénétiques que l'embryologiste considère

comme typiques. Tellement qu'on n'arrive à identifier certaines gastrulas qu'au prix d'une « théorie de la gastrula ».

Il y a plus : même au point de vue évolutionniste, les adaptations embryonnaires ne sont pas l'unique source des divergences morphologiques de ces premières étapes. Qu'on veuille bien se rappeler la diversité du contenu morphogène des cellules-œufs, par lesquelles débute le développement de chaque organisme. Les gastrulas, les blastulas, etc., qui dérivent immédiatement de ces cellules, ne sont pas davantage identiques entre elles : elles contiennent en puissance des êtres extrêmement différents : mais ici, dans des stades déjà plus complexes que la simple cellule initiale, la différence des virtualités pourra se traduire par certaines particularités de structure. On a dit — et nous n'oserions pas y contredire — que, dès le début de son ontogénèse, chaque organisme porte déjà l'empreinte visible de sa morphologie spécifique.

A fortiori faudrait-il condamner un rapprochement trop simpliste entre ces premières formes embryonnaires et la forme adulte d'animaux inférieurs. Nous reconnaissons une grande part de vérité à cette remarque de Hertwig : « Si un zoologiste prétendait, en se fondant sur certaines ressemblances, réunir en un seul groupe systématique les Hydroïpolypes les plus simples d'une part, et d'autre part les formes gastruliennes de Stellérides, de Sagitta, d'Amphioxus, qui n'en diffèrent pour l'extérieur qu'en un petit nombre de particularités, il créerait sans doute le plus artificiel des systèmes ; il agirait comme un chimiste, qui, dans la classification chimique, rassemblerait différents corps en un même groupe d'après des caractères extérieurs de coloration, de forme cristalline, etc., alors que la structure même de ces corps se traduirait par des formules moléculaires absolument différentes, mais inaccessibles aux

profanes. De même que, dans la systématique chimique, il n'y a pas à faire grand cas, comme principe de classification, d'une de ces grosses caractéristiques, qui sautent aux yeux; ainsi en doit-il être relativement à la classification des formes gastruliennes extérieurement ressemblantes (1). »

Mais serait-il vrai du moins que *la succession* et *l'aspect* des premiers stades embryonnaires ne puissent trouver d'explication *que* dans l'hérédité de formes ancestrales, plus ou moins profondément modifiées par adaptation ?

Dans l'hypothèse évolutionniste aussi bien que dans celle de la fixité des espèces, le développement d'un individu organique suppose, dès les premiers stades, une tendance interne à réaliser un certain type de structure, que cette tendance soit ou non réductible à un schème mécanique. Mais entre le point de départ — la cellule-œuf — et le but — l'organisme différencié — on imagine que plusieurs étapes puissent être des intermédiaires *nécessaires*, imposés à la fois par la tendance morphogène interne, par certaines lois générales de l'équilibre et du développement des formes pluricellulaires et par l'influence des causes extérieures. Supposé que chaque étape embryonnaire fût *le développement nécessaire* de la précédente, et, dans les circonstances concrètes où elle est parcourue, *la voie unique vers la forme adulte* terminale, de quel droit contraindrait-on à voir dans cette étape une lointaine et mauvaise copie de quelque étape ancestrale plutôt qu'un stade indispensable de la croissance normale de tel organisme ?

Il est vrai que prendre cette attitude, c'est se condamner à trouver ou à supposer une fonction morphologique à tous les rudiments embryonnaires et à toutes les formations transitoires de l'ontogénèse. Et la tâche ainsi assumée pourrait, dans l'étude du détail, s'alour-

(1) Hertwig, *op. cit.*, p. 166.

dir au delà des prévisions. Malgré cette difficulté, des embryologistes éminents n'ont pas hésité à déclarer *l'embryogénèse explicable en dehors de toute considération phylogénétique.* « Dans toute la série des formes que parcourt un organisme en développement, écrivait His, chaque forme précédente est l'étape nécessaire vers la suivante. Pour arriver à une forme terminale compliquée, l'organisme qui se développe doit avoir parcouru degré par degré les formes plus simples. Le cerveau et la moelle épinière pleinement différenciés appellent, comme formation préalable, un tube médullaire imparfaitement subdivisé; à son tour le tube médullaire suppose la plaque médullaire, celle-ci le pli d'invagination d'un feuillet embryonnaire, celui-ci enfin un germe qui se segmente. Chacun de ces stades de développement est aussi bien la conséquence physiologique du précédent que le déterminant nécessaire du suivant (1). » Aussi le même auteur, sans repousser la théorie de la descendance, fait-il remarquer à mainte reprise que « les ressemblances qui existent entre d'anciennes formes simples et les formes embryonnaires actuelles resteraient parfaitement intelligibles en dehors de tout recours à une parenté physique ». On trouverait des déclarations analogues chez Hensen, Oppel, et ailleurs.

Nous avons l'impression qu'une explication purement physiologique de l'ontogénèse ne suffirait pas à résoudre toutes les difficultés; mais il nous semble aussi que ce genre d'explication, encore peut-être qu'inadéquat, est trop négligé par beaucoup de morphologistes, qui ne flairent partout qu'hérédités ancestrales. En tous cas, pour ce qui concerne uniquement *les premiers stades embryonnaires,* leur forme et leur succession paraissent susceptibles d'une interprétation absolument indépen-

(1) W. His, *Unsere Körperform,* usw., p. 210.

dante du point de vue « biogénétique ». « L'organisme unicellulaire ne peut, de par sa nature, se transformer en organisme pluricellulaire que par voie de division cellulaire. Il faut donc bien que chez tous les animaux l'ontogénèse débute par un processus de segmentation de l'œuf. Mais d'un amas de cellules un organisme ne peut surgir avec la distribution très précise de ses groupements cellulaires, si les cellules, en se multipliant, ne commencent pas à contracter entre elles des liaisons étroites et coordonnées, de manière à réaliser, progressivement, suivant certaines lois, des formes d'abord simples puis plus compliquées (1). »

On voit donc que les premiers stades embryonnaires, du moins, *pourraient* bien ne nous apprendre autre chose que *certaines lois générales du développement*, et ne servir à interpréter la phylogénèse *que pour autant* que celle-ci soit censée se conformer aux susdites lois : interprétation très indirecte par conséquent.

§ 3. *Stades embryonnaires ultérieurs*. — Qu'on se rappelle quelques exemples classiques — et souvent cités — des « récapitulations phylogénétiques » qui s'y découvrent. Ce seront, par exemple, les sillons branchiaux de l'embryon de mammifères, d'oiseaux et de reptiles : on rapprochera ces productions des branchies d'amphibiens inférieurs et de poissons et des fentes pharyngiennes d'Amphioxus. Ou bien, la corde dorsale, dont l'importance se réduit à mesure que l'on monte dans la série des chordates et qui n'existe plus que comme un rudiment embryonnaire chez les mammifères supérieurs. Ou bien encore le crâne cartilagineux dont on retrouve les pièces principales — trabécules, parachordes et capsules — chez les cyclostomes et les poissons cartilagineux adultes,

(1) Hertwig, *op. cit.*, p. 173.

puis chez les embryons des vertébrés supérieurs. Le système circulatoire fournirait d'autres exemples assez nets, telle la disposition symétrique des arcs branchiaux et aortiques et du système des veines cardinales : cette disposition réalise un schéma commun à tous les vertébrés mais de plus en plus altéré chez les adultes des groupes supérieurs, dont pourtant l'embryon rappelle toujours quelque chose du plan primitif. De même la complication croissante de la structure du cœur dans la série ascendante des vertébrés correspond assez bien aux reploiements, torsions et cloisonnements successifs qui façonnent petit à petit, chez l'embryon, le cœur du mammifère adulte. On ne peut donc nier que beaucoup d'aspects embryonnaires ne rappellent plusieurs termes des séries homologues de l'anatomie comparée et n'aient avec ceux-ci un certain air de parenté.

Pourtant, à y regarder de plus près, ce rapport n'est pas aussi étroit qu'il semblerait de prime abord et, en tous cas, ne fournit pas de conclusions phylogénétiques très précises.

Un exemple, que nous empruntons partiellement à Morgan, montrera d'abord que des spéculations phylogénétiques, légitimes en apparence, peuvent se trouver cruellement démenties par la suite.

A l'éclosion de l'œuf, les crustacés inférieurs apparaissent sous la forme d'une larve globuleuse, munie de trois paires d'appendices et à laquelle on a donné le nom de Nauplius (1). Chez les crustacés supérieurs, l'éclosion est relativement plus tardive, mais, à l'intérieur de l'œuf, un des stades embryonnaires présente toutes les particularités caractéristiques de la larve

(1) Notre expression est trop générale pour être parfaitement exacte ; mais sous peine de nous perdre dans le détail, nous sommes contraint de négliger les nombreuses modalités présentées par la Nauplius (ou la Métanauplius) à son éclosion.

Nauplius. De cette constance de la forme Nauplius dans tout le groupe des crustacés, Fritz Müller, suivi en cela par plus d'un embryologiste de marque, tira la conclusion que cette forme devait représenter un ancêtre commun des crustacés. Après quelque temps, l'étude d'une autre forme larvaire, appartenant aux groupes des crustacés décapodes et stomatopodes, vint jeter quelque ombre sur la théorie de la Nauplius. Cette nouvelle forme larvaire — la larve Zoé — supérieure en organisation à la larve Nauplius — avait autant de titres à représenter une forme ancestrale des décapodes que la Nauplius elle-même ne pouvait en avoir à représenter une forme ancestrale de l'ensemble des crustacés. Malheureusement, ici, il était trop évident et il fut d'ailleurs généralement admis, que la forme Zoé, loin d'être une étape de l'ascendance des décapodes, n'était « qu'une forme nouvelle, fortement altérée et aussi récente que ce groupe même ». Et la fortune abandonna définitivement la théorie de la Nauplius ancestrale lorsque l'étude d'un groupe inférieur de crustacés, les phyllopodes, permit de rattacher la classe entière à une forme-type rigoureusement métamérisée et présentant des analogies frappantes avec les annélides. Weismann lui-même avoue « que l'interprétation primitive de la forme Nauplius est aujourd'hui délaissée au point qu'on doute même s'il y eut jamais des Nauplius capables de se reproduire » (1).

Quelle morale tirer de cette aventure? Que la présence d'un même stade larvaire dans un grand nombre d'espèces n'ait aucune valeur significative? Non pas : la forme Nauplius en particulier permit de ramener à la classe des crustacés bien des types adultes dont la morphologie avait été profondément modifiée par la fixation ou le parasitisme. Que le stade Nauplius ne

(1) A. Weismann, *Vorträge*, usw., p. 188.

rappelle pas une forme ancestrale adulte, mais seulement, moyennant quelques modifications, un stade ancestral larvaire ou embryonnaire? C'est l'opinion de Morgan (1). Quant à nous, volontiers nous nous bornerions à dégager de tout ceci une leçon de prudence; elle nous paraît formulée en excellents termes dans un discours de G. Gilson à la Société entomologique de Belgique : « On ne donne plus aujourd'hui le nom de larve à une forme quelconque du développement, mais seulement à une forme temporaire qui s'écarte de la forme adulte en s'adaptant à des conditions de vie spéciales, différentes de celles de l'adulte, et favorables, soit à la dissémination et à la conservation de l'espèce, soit à l'exploitation de certaines réserves de nourriture moins disputées que celles du milieu où se meut la forme parfaite... (2). » « Si telle est la signification des larves de tous les êtres qui en présentent, il est clair qu'il ne faut qu'avec une extrême circonspection y recourir dans la recherche de la filiation des êtres. Une application inconsidérée de la loi de la récapitulation ontogénique pourrait conduire à des conclusions tout à fait erronées (3). »

Mais revenons à des cas plus simples, en ce sens du moins qu'ils ne sont pas compliqués de cet écart de développement propre aux stades larvaires. Tels les exemples signalés au début de ce paragraphe. Quel renseignement un stade embryonnaire d'animal supérieur peut-il fournir sur les caractères et la place systématique d'un ancêtre supposé de cet animal?

Osk. Hertwig examine ce problème à propos des sillons branchiaux des mammifères. Avec lui, appelons S^{∞} un stade embryonnaire où se forment ces sillons; ce stade embryonnaire correspond à la forme adulte, S,

(1) *Evolution*, etc., p. 70.

(2) G. Gilson, *L'unité du groupe des Crustacés*. Ann. Soc. entomol. de Belgique, t. XLVIII, 1904, p. 453.

(3) *Ibid.*, p. 454.

d'un ancêtre inconnu présentant des fentes branchiales, admettons-le sans discussion; admettons de plus, en nous fondant sur les données de l'anatomie comparée, que cette forme adulte, munie de fentes branchiales, a dû posséder aussi des lamelles branchiales et une respiration branchiale, par conséquent a dû être adaptée à la vie aquatique.

Cela étant, *comment nous figurer cet ancêtre aquatique* et *dans quelle classe systématique le ranger?* Possédons-nous des éléments suffisants pour répondre à cette question? « Je ne le crois pas », déclare Hertwig. Une seule chose est ici absolument certaine : c'est que notre stade embryonnaire S^{∞} ne pourrait en aucune façon représenter un stade définitif et par conséquent n'est pas l'équivalent de la forme S cherchée.

Mais la plupart des morphologistes actuels ne se résignent pas à cette demi-obscurité : ils vont tâcher de tourner la difficulté en faisant appel à l'anatomie comparée et à la systématique des formes vivantes. Déjà nous avons rencontré ce procédé, alors qu'il s'agissait d'affermir les traits un peu indécis des types fondamentaux d'homologie : on tâchait de raccrocher le groupe de caractères abstraits à quelque forme inférieure les réalisant suffisamment pour servir de patron pour une reconstitution plus complète. C'est par un procédé identique que l'on va « reconstituer » l'ancêtre dont quelques caractères sont « récapitulés » dans le stade S^{∞}. « Puisque l'embryologie des mammifères ne nous apprend pas en quel état la forme ancestrale S, correspondant à S^{∞}, a dû être réalisée pour que son existence fût possible, on s'empare, dans les séries artificielles (de l'anatomie comparée) d'un chaînon qui semble convenable, c'est-à-dire d'un vertébré vivant possédant fentes branchiales et respiration branchiale (un poisson, p. ex.), et on le substitue à la forme S. Puis, comme on ne peut tout de même prétendre qu'une espèce de poisson

aujourd'hui vivante ait été la forme ancestrale des mammifères, on se contente d'appeler l'ancêtre retrouvé *pisciforme* (1). »

Encore, poursuit Hertwig, ce vocable pourrait ne pas tirer à conséquence, puisqu'il ne possède pas une signification systématique absolument fixée : on appelle bien les cétacés « pisciformes ». Mais ceux qui l'emploient à propos de phylogénèse entendent par là que l'ancêtre à branchies forme le point de convergence de deux lignées ascendantes, partant des mammifères et des poissons, et de plus que cet ancêtre commun *se rapproche* étroitement des poissons actuels par ses caractères morphologiques.

Or « celui dont la pensée s'aventure jusque-là n'apprécie pas à leur juste valeur les difficultés inhérentes aux problèmes de la descendance » (2). Car pourquoi donc rattacher la forme ancestrale aux poissons plutôt qu'à d'autres types? Il existe et on imagine bien d'autres formes à respiration branchiale. Et, au fond, notre ancêtre hypothétique pourrait fort bien n'avoir eu en partage les caractères distinctifs d'aucune classe d'animaux actuellement vivants. La lumière ne peut venir que de la paléontologie; mais qui sait si jamais ses lacunes se réduiront assez pour permettre des conclusions plus fermes?

« Au total, conclut Hertwig, *l'anatomie comparée ne nous fournit pas le moyen de préciser la valeur systématique de la forme ancestrale S des mammifères ni de rendre beaucoup plus évident le schéma que nous en a livré le stade ontogénétique* S^{∞} (3). »

Nous verrons tantôt que l'anatomie comparée, conjointement avec l'embryologie, n'en fournit pas moins un renseignement précieux à ceux que préoccupe

(1) Hertwig, *op. cit.*, p. 167.
(2) Id., *ibid.*, p. 167.
(3) Id., *ibid.*, p. 168.

l'enchaînement des formes organiques. Mais il nous faut auparavant nous rendre compte — très rapidement — d'une autre source de complications pour le problème phylogénétique.

§ 4. *Hétérochronie.* — A propos des premiers stades embryonnaires, nous avons fait observer que leur succession se trouvait *imposée* universellement par les nécessités mêmes du développement embryonnaire. On conçoit qu'il n'en doive pas être de même des particularités de stades postérieurs plus complexes : l'apparition de tel détail d'organisation peut n'être pas liée partout *ne varietur* à telle étape de l'ontogénèse. Cette *fluctuation dans l'époque d'apparition de certains organes* chez des embryons d'espèce différente fut surtout étudiée et mise en lumière ces dernières années par Oppel, Mehnert et Keibel : et l'on saisit sans peine tout ce que les interversions des sériations embryonnaires apportent d'incertitudes nouvelles à la sériation phylogénétique.

Gegenbaur déjà avait signalé de ces discordances entre la chronologie ontogénétique et la chronologie ancestrale telle que l'anatomie comparée la suggère. Ainsi, chez les mammifères, le développement embryonnaire des poumons précède notablement celui des dents : et cependant, du point de vue de l'évolution, l'apparition des poumons, dans la série animale, est incontestablement postérieure à celle des dents ; qu'on songe aux dents cutanées de nombreux vertébrés à respiration branchiale, des sélaciens, par exemple.

Weismann tâche d'expliquer ces faits — signalés en grand nombre aujourd'hui — par certaines oscillations de croissance et de régression d'organes, qui se seraient produites au cours de la phylogénèse ; mais, malgré la meilleure volonté du monde, il est amené à conclure que, « bref, il n'est plus possible de comparer tel et tel

stade ontogénétique d'une espèce donnée avec une forme ancestrale déterminée : *seuls les stades de développement des organes isolés se laissent mettre en parallèle* » (1). Et pourtant Weismann se refuse absolument, suivant la pittoresque expression allemande, *das Kind mit dem Bad auszuschütten* (2), c'est-à-dire à jeter par dessus bord la loi biogénétique : il se contente d'en atténuer fortement la portée. Keibel, lui, est plus catégorique dans son verdict : « Les discordances temporelles, on dirait aussi bien : la compénétration mutuelle, des étapes de développement des organes sont poussées si loin, qu'il semble impossible de proposer, comme l'avait fait Oppel, une subdivision des stades embryonnaires en stades de « pré-poisson » *(Vorfisch)*, de poisson, de vertébré terrestre et d'amniote ». Aussi « lorsque, chez les mammifères, on considère côte à côte l'état de développement des différentes parties de l'organisme, n'y a-t-il absolument pas lieu de parler d'une récapitulation de la phylogénie dans l'ontogénie » (3).

III

Nous pouvons arrêter ici nos considérations de détail. Les éléments dispersés dans les pages précédentes suffisent, semble-t-il, pour formuler d'une manière plus synthétique la vraie nature des rapports entre l'ontogénèse et la phylogénèse.

On se rappelle qu'au début de cet article nous avons signalé l'artifice méthodologique qui permettait d'introduire le point de vue génétique dans les séries d'objets homologues. Cet artifice, fondé d'ailleurs sur une hypothèse, présente l'avantage de restreindre l'arbitraire du

(1) A. Weismann, *Vorträge*, usw., Bd. II, p. 196.
(2) *Ibid.*, p. 196.
(3) Cité d'après Hertwig, *op. cit.*, p. 174.

morphologiste : la série homologue doit représenter une série causale, *au moins possible*. Et l'on aura remarqué, en même temps, le rôle considérable que joue l'embryologie, à ce point de vue : elle fournit le type de multiples transformations, possibles puisque réelles. Il se fera donc que les chaînes d'homologies seront très souvent calquées sur la succession des aspects embryonnaires. Si tout se bornait là, l'anatomie comparée pourrait fournir à l'évolutionniste les bases d'une hypothèse phylogénétique assez gratuite encore, mais du moins plausible.

Les partisans du parallélisme de l'ontogénèse et de la phylogénèse vont plus loin. De la concordance des séries — artificielles, mais hypothétiquement génétiques — de l'anatomie comparée avec les séries naturelles de l'ontogénèse, ils prétendent, non seulement tirer argument pour l'*existence même d'une phylogénèse*, mais encore déduire des *indices précis sur le détail de cette phylogénèse*. Laissons la question de la probabilité plus ou moins haute d'une évolution phylogénétique. Comment caractériser les étapes de celle-ci au moyen de l'ontogénèse? Ce ne sera évidemment qu'au prix d'une *interprétation laborieuse*, tant est malaisée et décevante la lecture des annales embryonnaires : annales écourtées, interpolées, imprécises et jusqu'à un certain point allégoriques; car à mettre la chose au mieux, ce qu'elles nous racontent, ce n'est pas l'histoire ancestrale mais une série de faits actuels dont la succession et la nature symbolisent plus ou moins parfaitement l'histoire ancestrale.

Nous l'avons montré surabondamment, d'après Osk. Hertwig et d'autres : les stades embryonnaires fournissent une échelle de *formules abstraites d'ancêtres;* les principaux échelons *correspondent à peu près aux séries de l'anatomie comparée,* ce qui n'est pas toujours fort étonnant tenu compte des bons ser-

vices rendus par l'embryologie dans l'élaboration même de ces séries; mais enfin, malgré tout, il y a là, dans les grandes lignes, une coïncidence remarquable; est-ce assez pour *concréter* les ancêtres abstraits et leur assigner *une place dans la classification?* On a vu, dans les pages qui précèdent, que des embryologistes et des anatomistes éminents ont pu soutenir que *non*. Mais faut-il aller jusqu'à prétendre qu'il n'y ait rien à tirer du fait des concordances — si inadéquates qu'elles puissent être — entre l'ontogénèse et l'anatomie comparée ? Loin de là : les modifications embryonnaires d'une part et les séries homologues d'autre part sont comme deux sortes de variations musicales sur un *thème commun* : ce thème, dans l'hypothèse de l'évolution des espèces, est aussi celui d'une troisième variation, inconnue celle-ci, la variation phylogénétique. Or, c'est déjà un résultat appréciable que *d'avoir dégagé le thème fondamental,* fussions-nous condamnés à ignorer toujours une des variations. D'autant plus que la variation hypothétique fondée sur les homologies de l'anatomie comparée et garantie par l'identité de son thème avec celui de l'embryogénèse, a *quelque chance de se rapprocher* davantage de l'inconnue cherchée. En effet, l'anatomie comparée nous montre actuellement, à l'état adulte et fonctionnel, différents types d'organes qui n'apparaissent chez l'embryon que transitoires, ébauchés et souvent sans fonction propre : la forme réalisée aujourd'hui chez les adultes observables est-elle identique à la forme autrefois fonctionnelle chez l'ancêtre adulte ? Non, mais elle *put* lui être *analogue*. D'où un *fondement suffisant* pour une nouvelle hypothèse permettant à la fois de fixer les idées et d'assigner à la forme ancestrale supposée une place dans la systématique. L'écueil, malheureusement trop réel, est ici d'oublier peu à peu cette superposition d'hypothèses et d'attribuer une valeur trop absolue à des *reconstitutions conjecturales*.

Une question nous reste à examiner brièvement. Quelle est la *cause* de l'unité de ce *thème fondamental* dont nous venons de parler? Bien que l'anatomie comparée doive compter parmi les sciences en partie artificielles, il serait évidemment excessif de prétendre que ses concordances avec l'embryogénèse aient pour cause unique la volonté du morphologiste : manifestement une influence objective a déterminé, pour une part, le parallélisme observé. Quelle serait cette influence ?

Beaucoup d'évolutionnistes la trouvent *tout entière* dans l'*hérédité* : celle-ci rend compte à leurs yeux de toutes les ressemblances. L'hérédité phylogénétique est le *thème primordial* d'où dérivent la variation correspondante de l'embryogénèse — où il est condensé — et celle de l'anatomie comparée — où il se trouve au contraire éparpillé et comme analysé. Un point de vue aussi exclusif entraîne comme conséquence l'hypothèse d'une évolution rigoureusement unitaire, au moins à l'intérieur du règne animal : toutes les formes doivent être physiquement apparentées et, par suite, procéder d'une forme initiale unique.

Mais, *en dehors même de tout appel à un plan transcendant*, l'explication ci-dessus de l'unité du thème fondamental ne s'impose aucunement avec cette intransigeance. Il est absolument certain que le développement embryonnaire obéit partiellement à des lois physiologiques très générales et indépendantes de toute hérédité. Il est certain aussi que l'identité de certaines causalités ambiantes peut faire évoluer dans le même sens des formes nullement apparentées mais simplement semblables, et rapprocher même des formes distantes l'une de l'autre. Ces lois universelles de la morphogénie peuvent donner la raison de bien des ressemblances : *la similitude morphologique n'implique donc pas nécessairement la parenté directe ou indirecte.*

De ces considérations d'éminents biologistes ont tiré une conséquence qui a le don — pourquoi? — d'irriter certains esprits; nous l'avons déjà signalée : c'est que — abstraction faite encore une fois de tout recours à un être transcendant — l'hypothèse de l'évolution peut — et même probablement devrait — prendre une forme absolument différente de la forme unitaire : celle du *polyphylétisme* ou de la pluralité des souches.

Mais ici de nouveau, il importe de distinguer les courants d'opinion. Il y a polyphylétisme et polyphylétisme. Certains auteurs s'en font une conception qui *dépasse* les suggestions immédiates des faits et reflète des préoccupations théoriques; d'autres ne donneront à leur formule du polyphylétisme *que tout juste* l'extension que semblent réclamer actuellement les observations, réserve faite d'ailleurs des enseignements possibles de l'avenir.

A la première comme à la seconde catégorie se rattachent des noms illustres. On nous permettra de citer quelques lignes de Naegeli : « Contre l'origine monophylétique des organismes, se prononcent aussi bien les principes théoriques légitimes que les faits d'expérience. Le règne végétal — entendu de l'ensemble des formes végétales qui ont existé — et l'on en dirait autant du règne animal, se compose d'un nombre considérable de troncs phylogénétiques, qui prirent naissance à toute époque et en différents endroits de la surface du globe, y atteignirent une durée de vie très inégale, un degré variable d'évolution et de ramification, puis pour la plupart, ont dépéri. » « Combien d'espèces et de familles voisines se rattachent à la même souche? Il est impossible de le déterminer avec assurance... Il est très possible qu'un certain nombre ou même un grand nombre de familles végétales aient une origine commune et soient phylogénétiquement apparentées; mais *il est tout aussi concevable que chacune d'elles pro-*

vienne d'une souche initiale particulière (1). » Osk. Hertwig, comme déjà nous l'avons constaté, fait siennes ces observations de Naegeli. Chez T.-H. Morgan, se trouvent exposées des vues analogues. « Quand nous observons, écrit-il, chaque groupe d'animaux ou de végétaux vivants, qu'ils soient d'organisation élevée ou inférieure, nous le trouvons composé d'une grande variété d'espèces, et, pour autant que la géologie donne ici quelque réponse, nous trouvons qu'il doit en avoir été de même dans le passé. Mais alors, pourquoi supposer que tous les membres des groupes les plus élevés proviennent d'une seule espèce ou variété originelle? Pourquoi chacune des espèces d'un groupe inférieur — ou du moins un certain nombre d'entre elles — ne pourrait-elle pas s'être transformée en une espèce d'un groupe supérieur — espèce à espèce? Dans ce dernier cas, la ressemblance entre les nouvelles espèces ainsi formées s'interpréterait parfaitement dans la supposition que leurs ancêtres étaient également semblables entre eux. La ressemblance ne serait pas due alors à une descendance commune, il serait inexact de l'expliquer par une hérédité commune (2). » Et si l'on poussait la question d'origine, en remontant les lignées jusqu'aux toutes premières formes vivantes qui apparurent à la surface du globe, on imagine qu'on pourrait là aussi trouver la diversité. Mais Morgan fait observer avec raison, qu'arrivés à ce point, nous manquons absolument de faits sur lesquels appuyer nos hypothèses.

On aura remarqué que les biologistes, dont nous venons de parler, tout en admettant la pluralité des lignées indépendantes, font cependant remonter chacune d'elles *jusqu'à un stade d'organisation très élémentaire de la matière vivante*. Or les faits n'exigent

(1) Cité par Hertwig, *op. cit.*, p. 171.
(2) T.-H. Morgan, *Evolution*, etc., p. 87.

pas ce prolongement de l'hypothèse : pourquoi donc en surcharger le polyphylétisme? Hertwig et Naegeli expriment, au moins indirectement, les *raisons théoriques* qui leur imposent cette attitude : c'est la nécessité — postulée par eux — d'expliquer « scientifiquement », par antécédents expérimentaux, l'origine même des formes initiales de nos espèces actuelles. Il est trop évident que la vie n'a pu exister toujours sur notre planète; il est non moins évident que les forces mécaniques, physiques et chimiques ne peuvent avoir créé de toutes pièces un organisme un peu compliqué. Il reste donc à chercher les points de départ dans des formes assez élémentaires pour qu'on puisse raisonnablement les supposer issues de la matière brute. En dehors de ce point de vue, on se verrait contraint de faire appel à des causalités métaphysiques et de soustraire ainsi à la science empirique le problème des origines biologiques.

Certes, rien n'empêche les auteurs catholiques de se rallier au point de vue que nous venons d'exposer, puisqu'aussi bien l'enseignement authentique de l'Église ne leur impose aucunement la croyance à une intervention *directe* de Dieu dans la constitution du premier être vivant. En fait pourtant, la plupart d'entre eux, n'étant pas retenus par une phobie métaphysique qui les contraigne à chercher à tout prix des antécédents physico-chimiques à l'origine de la vie, prendront facilement leur parti d'une *attitude expectante*, inspirée plus exclusivement par les enseignements mêmes qui semblent se dégager des faits actuellement connus. Or, les faits ne suggèrent pas autre chose que *l'unité phylogénétique de certains groupements* : genres, ordres, familles ou même groupes plus larges, selon les cas. Le nombre des lignées ancestrales indépendantes serait donc infiniment moindre que dans l'hypothèse de la fixité de l'espèce : mais nous ignorons parfaitement si, en tête de ces lignes, se trouve une forme unicellulaire

ou un organisme déjà différencié : les faits ne nous permettent pas, aujourd'hui, de remonter si haut et nous ne pouvons nous piquer de pénétrer le secret de demain. Nous nous plaisons à citer ici le nom de Wasmann, que sa qualité de jésuite n'a pas empêché de prendre place parmi les premiers myrmécologues de notre temps : ses études si remarquées sur les variations morphologiques des hôtes des fourmis l'ont amené à la conception d'un évolutionnisme polyphylétiste et à la distinction des « espèces systématiques » et des « espèces naturelles » (1). Les « espèces naturelles » répondent aux lignes autonomes d'évolution. Mais Wasmann se refuse — et c'est sagesse — à caractériser actuellement les points de départ de ces lignes d'évolution.

Voici une page d'A. Gaudry, qui montrera que la paléontologie n'est nullement hostile au polyphylétisme : « L'étude patiente des faits, écrit-il, semble révéler des enchaînements entre les êtres des âges passés. À la fin de sa vie, ayant eu le temps de beaucoup observer et de beaucoup méditer, le grand géologue d'Omalius d'Halloy a écrit : « J'ai peine à croire que » l'Être tout-puissant, que je considère comme l'auteur » de la nature, ait, à diverses époques, fait périr tous » les êtres vivants pour se donner le plaisir d'en créer » de nouveaux, qui, sur les mêmes plans généraux, » présentent des différences successives, tendant à » arriver aux formes actuelles ». Ce langage me paraît celui du bon sens; l'examen des fossiles primaires porte à admettre des passages d'espèce à espèce, de genre à genre, de famille à famille. Mais pour rester dans la vérité tout entière, il faut ajouter que l'état actuel de la science ne permet guère d'aller

(1) E. Wasmann, S. J., *Die moderne Biologie und die Entwicklungstheorie*. Freiburg in Br., 1904. Voir les chap. VIII et IX.

plus loin : il ne laisse point percer le mystère qui entoure le développement primitif des grandes classes du monde animal... Les fossiles primaires ne nous ont pas encore fourni de preuves positives du passage des animaux d'une classe à ceux d'une autre classe (1). » Et ailleurs : « Trouvons-nous des preuves que, dans un même embranchement, des animaux de classes différentes ont passé les uns aux autres? Je me suis déjà posé cette question dans le résumé de mon livre sur les êtres primaires, et j'ai dû répondre négativement. En étudiant les êtres secondaires, je m'adresse encore la même question et j'y réponds aussi négativement (2). » Quelques lignes plus loin, Albert Gaudry formule une hypothèse phylogénétique, puis, très sobrement, ouvre comme une échappée sur des vues philosophiques, qui, à notre avis, honorent aujourd'hui autant que jamais un esprit capable de les saisir : « Je suppose qu'en général il n'y a eu qu'une parenté très éloignée entre les animaux de classes différentes appartenant à un même embranchement. Leur union doit remonter à une époque reculée, où ils n'avaient pas encore pris les caractères distinctifs des classes dans lesquelles nous les rangeons actuellement. Quels sont-ils, ces ancêtres présumés d'où sont sortis des êtres qui ont abouti à des classes différentes? Nous l'ignorons. Assurément, il nous plairait de ne plus voir tant de lacunes et de comprendre la synthèse de l'ensemble du monde organique. Mais notre science est trop jeune. Ouvriers de la première heure, nous ne pouvons apercevoir que vaguement, dans le lointain,

(1) A. Gaudry, *Les enchaînements du monde animal dans les temps géologiques*. Fossiles primaires. Paris, 1883, pp. 291-292.

(2) A. Gaudry, *Enchaînements*, etc. Fossiles secondaires. Paris, 1890, p. 299.

le tableau magnifique de la nature, où sous la direction du Divin Artiste, tout se coordonne, se pénètre, s'enchaîne à travers les espaces et les âges (1). »

Nous espérons que les pages ci-dessus, en précisant un peu les notions d'homologie, d'ontogénèse et de phylogénèse, pourront contribuer à faire saisir quelque chose de la *complexité des problèmes évolutionnistes*. Nous n'avons examiné qu'un aspect limité de ces problèmes; il resterait à étudier d'une manière critique les indices que fournit la *géographie zoologique et botanique* et surtout peut-être les *causalités* diverses qui furent invoquées pour rendre intelligible l'hypothèse transformiste. Les résultats de cette nouvelle étude donneraient d'ailleurs une impression analogue à celle qui doit ressortir du présent article : la théorie de la descendance n'est, dans l'état actuel de nos connaissances, ni complètement applicable ni complètement explicable : elle n'a d'ailleurs point encore trouvé, fût-ce à titre purement hypothétique, sa formule nette et pleinement satisfaisante. D'autre part, le principe transformiste sur lequel elle repose, celui de la variabilité des types organiques, possède, entre certaines limites, une valeur quasi expérimentale; et il semble qu'on ne puisse plus enserrer le monde de la vie dans les cadres rigides d'un fixisme mal compris.

Ces considérations pèsent de tout leur poids, non seulement sur certains adversaires — d'ordinaire mal informés — d'un transformisme modéré et raisonnable, mais surtout sur certains colporteurs d'évolution — trop nombreux aujourd'hui encore — qui, dans le but sans doute de former « l'esprit scientifique » de la

(1) *Op. cit.*, p. 388.

foule, servent à celle-ci, sous l'étiquette de la science, les produits les plus équivoques de la fantaisie individuelle. Et il est douloureux de constater qu'on trouve parfois des hommes de science pour se prêter à cette contrefaçon.

J. M., S. J.

LA LOI DE COULOMB

Toutes les théories modernes de l'électricité admettent, on le sait, que les actions entre les derniers éléments de l'électricité ou du magnétisme s'exercent en raison directe du produit de leurs masses et en raison inverse du carré de leurs distances. Cette relation est ce qu'on appelle la loi de Coulomb. Le plus souvent on l'appuie sur des preuves d'ordre expérimental, qui ne sont pas toujours à l'abri de toute critique; après quoi, on la prend pour base de tout le développement ultérieur du calcul. Jamais, jusqu'à présent, on n'en a déduit de conséquences contraires à l'expérience, là du moins où l'expérience était réalisable.

Est-ce assez pour la regarder comme démontrée? Est-ce assez surtout pour se croire à l'abri de tout mécompte si on s'avise un jour de l'appliquer à un ordre de phénomènes tout différent de celui qui a servi à la trouver? Question intéressante, nous semble-t-il, à une époque où l'on se plaît à revenir sur les principes alors même qu'ils se montrent féconds dans l'application, à scruter la valeur démonstrative des arguments, alors même qu'ils n'ont conduit à aucune erreur palpable. Question intéressante surtout au moment où l'on construit au moyen de la loi de Coulomb une nouvelle théorie, celle des électrons, pour laquelle elle n'était point faite, et qui semble jusqu'ici s'y adapter sans difficulté. Le présent travail a pour objet de l'étudier.

I. — Comment se doit entendre et comment se peut démontrer la loi de Coulomb

Avant d'entrer dans l'examen des preuves alléguées en faveur de la loi de Coulomb, il nous faut préciser d'abord dans quel sens cette proposition peut s'appeler une loi. Évidemment, ce n'est pas une loi physique au même sens que la loi de Mariotte, par exemple, ou les lois de la réflexion et de la réfraction. Celles-ci traduisent purement et simplement un ensemble de faits constatés un très grand nombre de fois d'une manière constante, si bien qu'on peut presque à coup sûr prédire que dans des circonstances identiques ils se reproduiront semblables à eux-mêmes. Ce sont des lois purement expérimentales ou empiriques; ce sont les vraies lois physiques.

Celle de Coulomb n'a point ce caractère. Avant tout, l'expérimentation directe ne peut porter sur les derniers éléments électriques ou magnétiques, puisqu'il nous est impossible de les atteindre isolément. De ce chef déjà, l'énoncé de Coulomb n'est pas et ne peut être la simple traduction en une formule générale d'un grand nombre de faits observés. Mais, de plus, les lois physiques de l'attraction et de la répulsion électriques sont tout autres.

Sans doute, entre deux petites sphères suffisamment éloignées entre elles, les attractions et les répulsions sont sensiblement comme les inverses des carrés des distances. Mais à petite distance, ce n'est plus le cas. Entre deux disques parallèles de surface très grande par rapport à leur distance, comme dans l'électromètre de Thomson, les forces sont indépendantes de la distance, si les charges sont fixes. A une distance plus grande, on trouverait qu'elles varient à peu près comme l'inverse de la simple distance; plus loin encore, elles tendent à devenir pro-

portionnelles à l'inverse du carré. En général, cette dernière tendance se retrouve dans tous les cas où l'éloignement des conducteurs devient considérable par rapport à leurs dimensions. La forme des conducteurs joue d'ailleurs un rôle important.

Qu'a donc voulu Coulomb? Il a cherché une règle d'action des forces électriques ou magnétiques telle qu'en l'appliquant aux derniers éléments dans lesquels on peut supposer décomposées les masses agissantes, on retrouve, dans tous les cas directement accessibles à l'expérience, un résultat global conforme à celui que donnent les mesures effectives. Il fait donc nécessairement une hypothèse, qu'on ne s'y trompe pas. Comme Newton de la gravitation, il doit dire de la force électrique ou magnétique : tout se passe comme si les particules s'attiraient ou se repoussaient en raison directe du produit des masses et en raison inverse du carré des distances; et bien qu'il se défende de « vouloir indiquer les véritables causes de l'électricité », bien qu'il proteste qu'il n'a d'autre intention que de « présenter avec le moins d'éléments possible les résultats du calcul et de l'expérience », il n'en est pas moins obligé d'imaginer un mécanisme mettant en jeu les particules dernières de manière à reproduire dans l'ensemble les apparences observées. Ce mécanisme, dans l'espèce, est l'action à distance. Ce qu'il veut dire, c'est précisément qu'il l'accepte franchement comme une hypothèse et non comme une réalité.

Tel étant le sens de l'appellation de loi donnée à l'hypothèse de Coulomb, on voit que c'est un usage plutôt fâcheux de désigner du même mot deux choses aussi différentes que les énoncés généraux des résultats expérimentaux et les règles des mécanismes hypothétiques inventés pour réunir par un lien commun des groupes de résultats différents. Ces dernières s'appelleraient à plus juste titre des *postulats*.

On sait que des raisons impérieuses, d'ordre expérimental elles aussi, ont obligé les physiciens d'abandonner les actions à distance. Les forces attractives et répulsives sont désormais conçues comme résultant d'une action de milieu qui se transmet de proche en proche. Transposé dans cette nouvelle théorie, le postulat de Coulomb devrait, semble-t-il, revêtir une forme plus en harmonie avec le langage habituel de cette théorie. Ce serait effectivement plus logique. Par malheur, cette forme serait trop compliquée, et comme il arrive souvent, l'expression, idéalement simple, fournie par l'hypothèse des fluides qui s'attirent en ligne droite à distance a été conservée dans l'hypothèse, plus parfaite à bien d'autres égards, du milieu mis en tension.

En définitive, nous pouvons donc encore faire abstraction des divers mécanismes équivalents imaginés pour rendre compte des phénomènes et garder seulement l'énoncé de la loi suivant laquelle le plus simple d'entre eux est censé agir. Tel sera pour nous le postulat de Coulomb.

Tâchons maintenant de nous rendre compte de la manière dont pareil postulat peut être vérifié. Nous avons donc remplacé dans notre esprit les actions dernières qui s'exercent réellement dans la nature entre les éléments ultimes par des actions plus aisément intelligibles et surtout saisissables par le calcul. Comment cette substitution peut-elle être légitimée ?

Remarquons que le cas est analogue à ce que nous pratiquons couramment en mathématiques dans l'emploi de la méthode des limites, c'est-à-dire, au fond, du calcul différentiel et intégral. Nous nous trouvons en présence d'une quantité mesurable, la force électrique dans un cas donné. Nous la considérons comme la limite de la somme des quantités infiniment petites de

même nature, les forces élémentaires (1), qui sont en jeu dans les profondeurs dernières de la matière. Mais, pour que cette considération devienne pratiquement utile, nous devons remplacer celles-ci, dont nous ne pouvons écrire l'expression mathématique, par d'autres infiniment petits susceptibles de se prêter au calcul, de telle manière que la limite de la somme ou la résultante ne soit pas altérée. C'est ainsi que pour mesurer la longueur d'un arc de cercle, qui est la limite de la somme des arcs élémentaires, quantités non moins inaccessibles à notre géométrie que l'arc entier, nous le considérons comme étant aussi la limite de la somme des côtés d'un polygone inscrit dont le nombre de côtés croît indéfiniment. La limite de cette dernière somme peut être calculée facilement. Par conséquent, le problème est résolu.

Mais il est clair que le procédé ne sera légitime que si nous pouvons démontrer que les limites des deux sommes en question sont bien les mêmes. Cela peut se faire de deux manières, dont la valeur probante est d'ailleurs fort inégale. La première, la plus parfaite, consiste à montrer que, lorsque les infiniment petits tendent vers zéro, la limite du rapport de l'infiniment petit de la première espèce à celui de la seconde tend vers l'unité. Le théorème général relatif à la substitution des infiniment petits montre que, dans ce cas, la méthode est rigoureusement exacte et applicable à tous les problèmes particuliers sans restriction. Il en est ainsi dans la mesure de l'arc de cercle, parce qu'on peut montrer que le rapport de l'arc à la corde qui le sous-tend a pour limite l'unité. Il en est de même dans toutes les questions purement mathématiques : ce n'est pas autre chose, au fond, que l'algorithme différentiel. Mais dans les applications de l'analyse à la physique, il n'en va

(1) Plus exactement : comme la limite de la somme des projections de ces forces élémentaires sur la direction de la résultante.

plus de même la plupart du temps. La comparaison des deux infiniment petits ne peut presque jamais se faire directement, et on en est réduit alors à essayer de prouver par une voie détournée la légitimité de la substitution, en comparant à l'expérience, dans le plus grand nombre possible de cas, les résultats qu'elle fournit. Il saute aux yeux que cette vérification *à posteriori* ne vaut alors que dans les limites où elle a pu se faire, et que, si un certain ordre de faits se trouve être en conformité avec ce que donne le calcul basé sur la loi hypothétique, il n'en résulte jamais qu'aucun autre ordre de faits, même voisin, ne s'y montrera réfractaire. Cette seconde méthode comporte donc nécessairement un grand nombre de vérifications de contrôle dans les circonstances les plus diverses, malgré quoi elle ne peut prétendre à égaler jamais la généralité et la rigueur des résultats de la première.

Pour résumer ces principes, en les appliquant au cas particulier qui nous occupe, nous pouvons formuler le problème de la manière suivante. Il s'agit de prouver que les actions attractives ou répulsives observées entre des masses finies d'électricité ou de magnétisme à des distances finies, sont égales aux résultantes des actions qui seraient supposées s'exercer entre des éléments infiniment petits, à des distances également finies, en raison directe du produit de leurs masses et en raison inverse du carré de leurs distances. Deux voies se présentent pour y arriver. Ou bien, montrer qu'à mesure qu'on se rapproche des conditions supposées, à savoir éléments de plus en plus petits par rapport aux intervalles qui les séparent, on serre cette loi d'action de plus près, et que les différences qui subsistent peuvent devenir et rester plus petites que toute grandeur assignable (c'est-à-dire, étant donné que le procédé de démonstration est une mesure physique, plus petites que les erreurs d'observation inévitables) ; ou bien,

calculer les résultantes dans le plus grand nombre possible de conditions diverses, et les comparer de même aux mesures expérimentales.

Nous pouvons maintenant aborder l'examen des diverses preuves proposées pour établir le postulat de Coulomb.

Il faut tout d'abord être bien averti des difficultés spéciales que présentent les expériences. L'analogie des phénomènes de l'attraction électrique ou magnétique avec les effets de la gravitation devait évidemment faire naître, tout naturellement, dans l'esprit des physiciens, l'idée d'essayer de leur appliquer les mêmes lois ; mais les caractères propres des forces à étudier rendent ici les vérifications beaucoup plus malaisées. Ces caractères consistent en deux propriétés principales, réductibles au fond à une seule : la répartition insuffisamment connue des masses (variable sur les bons conducteurs en électricité), d'où résulte une incertitude sur le point d'application des résultantes et partant sur la valeur des distances ; ensuite le phénomène de l'influence, qui introduit des forces nouvelles. Faute d'avoir éliminé ces causes troublantes ou d'avoir su évaluer leurs effets, les premiers physiciens qui se sont occupés de la question sont arrivés aux résultats les plus discordants. Newton faisait varier la force magnétique en raison inverse du cube de la distance. Hawksbee et Brook Taylor, comme l'inverse de la puissance 5/2. Martin admettait la puissance 3/2. Aepinus et Musschenbroek trouvaient qu'elle était comme l'inverse de la simple distance. Mais avec des dispositifs expérimentaux différents, ce dernier, comme Brook Taylor, du reste, rencontrait une foule de lois différentes. Longtemps encore après Coulomb, Snow Harris, auquel sont empruntés les exemples qui précèdent, se trouvait dans le même embarras. On verra plus tard que les valeurs de la puissance supérieures à 2 ne peuvent être dues

qu'à l'effet des perturbations signalées dans ce paragraphe. Quant à la divergence des résultats inférieurs à 2, elle provient de ce que les expériences correspondantes étaient fort éloignées des conditions de la loi élémentaire. Leurs auteurs n'avaient pas su y reconnaître des cas complexes qui demandaient à être traités comme la résultante d'un grand nombre d'actions élémentaires. Ils n'auraient dû leur demander que des vérifications partielles suivant l'esprit de la seconde méthode. Nous les retrouverons, d'ailleurs, quand nous aurons exposé les travaux de Coulomb, incomparablement supérieurs à ces premiers essais.

II. — Méthode directe

Le mérite de Coulomb est double. Tout d'abord, il a fait faire un progrès immense à la technique des mesures, si bien que ses résultats n'ont guère été surpassés en précision jusqu'à nos jours. Ensuite, il a été le premier à se rendre compte de la valeur logique du procédé ou des procédés qu'il employait. Ce n'est pas cependant qu'il l'ait pénétrée avec la même clarté que nous pouvons le faire aujourd'hui. « Il faut remarquer, dit-il à propos de sa balance de torsion, dans le quatrième Mémoire sur l'électricité et le magnétisme, qu'il y a ici beaucoup de cas où les expériences en petit sont plus décisives que celles en grand, parce que l'attraction ou la répulsion du fluide électrique étant pour chaque élément en raison inverse du carré des distances, pour que les résultats soient simples, il faut presque toujours que la distance des corps dont on veut mesurer l'action réciproque soit beaucoup plus grande que les dimensions particulières de ces corps. » Nous ne ferons, pensons-nous, que préciser la pensée hésitante de Coulomb en disant : Si l'on veut se rappro-

cher autant que possible des conditions de l'action élémentaire réciproque de deux particules, c'est-à-dire appliquer la méthode de comparaison directe des forces élémentaires qu'on cherche à substituer l'une à l'autre, il faut choisir pour l'expérience des corps dont les dimensions soient très petites par rapport à leurs distances. C'est ce que l'illustre physicien a réalisé dans sa balance de torsion.

1. — La loi de l'inverse des carrés des distances

Rappelons brièvement le dispositif de cet appareil, décrit d'ailleurs en détail dans tous les traités. Dans un large cylindre de verre une aiguille légère isolante est suspendue à un fil d'argent. Elle peut se mouvoir devant une graduation tracée soit sur la surface latérale du cylindre, soit sur le fond. Une de ses extrémités se termine par une petite balle de sureau. Une petite sphère conductrice de même dimension est portée à la même hauteur par un support isolant fixe. La torsion du bout supérieur du fil d'argent permet de faire varier la distance des deux balles, et l'étude magistrale des lois de l'élasticité de torsion des fils métalliques, faite au préalable par Coulomb, donne la mesure de la force répulsive équilibrée pour un angle de torsion quelconque. La balance magnétique avait une disposition tout à fait semblable.

Voici un exemple des résultats numériques obtenus dans la mesure des forces électriques. C'est le seul publié par Coulomb. Il est classique.

Écart des boules (angle α) .	36°	18°	8°30′
Torsion du fil . . .	36°	144°	576°

Le moment du couple de torsion étant proportionnel à l'angle de torsion, les nombres 36, 144, 576

peuvent servir à mesurer la force. S'ils étaient proportionnels à l'inverse du carré des distances, un calcul facile montre qu'ils devraient faire prendre la même valeur dans les trois cas à l'expression $A \sin\frac{\alpha}{2} \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}$, où A est une constante.

Or, on trouve les nombres 3,614 dans la première expérience, 3,568 dans la deuxième, 3,169 dans la troisième. La discussion rapide des causes d'erreur va nous montrer qu'en réalité la discordance n'a pas exactement cette valeur, mais sans nous permettre de lui en assigner une plus probable. C'est le défaut de la méthode.

Tout d'abord, les observations ayant été exécutées dans l'ordre indiqué, il est évident que la déperdition par les supports, toujours imparfaitement isolants, a diminué les charges dans l'intervalle de la première mesure à la troisième. Coulomb déterminait approximativement le taux de perte en observant en combien de temps l'aiguille, sous une torsion de 50°, parcourait un arc d'un degré, l'angle de répulsion initiale étant de 30°. Il avait trouvé 3 minutes le jour de l'expérience relatée. Les mesures elles-mêmes ayant pris 2 minutes, on voit que l'erreur due à la déperdition est du même ordre de grandeur que la discordance observée.

Il y a une autre cause d'erreur qui agit dans le même sens. Le calcul montre que si la loi est vraie, la distribution sur une sphère éloignée de tout autre conducteur est uniforme et l'action la même que si toute la masse était réunie au centre. On peut d'ailleurs, on le verra plus loin, tirer directement cette propriété de l'expérience. Mais si deux sphères sont voisines, la distribution est altérée. Chargées de la même électricité, elles dégarnissent plus ou moins leurs parties en regard au profit des plus éloignées. Les actions résultantes ne sont donc plus appliquées au centre de figure,

et les distances réelles de leurs points d'application sont plus grandes que celles des centres des sphères données par la lecture de l'instrument. Avec des charges de signes contraires, ce serait l'inverse. Cet effet croît quand la distance diminue. Hâtons-nous de dire qu'il est négligeable dans l'expérience de Coulomb. Le calcul montre qu'il ne conduit pas à une erreur supérieure à 0,002 dès que la distance des sphères est au moins égale à leur rayon, condition surabondamment vérifiée dans la balance.

Mais il y a aussi des perturbations qui agissent en sens opposé. Premièrement, l'influence des balles électrisées sur les parois de la cage, qui n'étaient distantes de leurs centres que de 4 centimètres, introduit une force nouvelle sur la balle mobile, et cette force augmente les grands angles de torsion plus que les petits. Cela pour deux raisons différentes. D'abord par sa composante suivant la direction de l'action mutuelle des deux boules. Cette composante atteint son maximum quand les deux boules sont à 180° l'une de l'autre, puisqu'alors elle se confond avec la direction même de la force due à l'influence, qui est évidemment dirigée normalement à la paroi. Pour des angles moindres, elle décroît d'une manière continue jusqu'à zéro, valeur dont elle s'approche quand les deux boules sont très voisines. Comme elle agit dans le même sens que la force de répulsion, elle ajoute son effet à celle-ci, et, par conséquent, l'exagère d'autant plus que les angles de répulsion sont plus grands.

D'autre part, ces mêmes forces dues à l'influence attirent la boule mobile et l'aiguille vers la paroi et, partant, font sortir le fil de suspension de la verticale du centre de la graduation. L'erreur de lecture qui en résulte est une diminution de l'angle vrai, et il est facile de s'assurer que sa valeur est maximum pour 90°, et qu'elle est nulle pour 0° et pour 180°. Dans les mesures

de Coulomb ce sont donc les valeurs les plus grandes qui sont le plus altérées, et elles le sont en moins.

Enfin, il existe des causes d'erreur grave dont il est impossible de prévoir le sens. Le système de suspension de l'aiguille devant la bande ou le limbe gradué conduit à un mode de lecture qui peut donner lieu à des erreurs de parallaxe notables et, de plus, n'offre aucune garantie du passage de l'axe de rotation par le centre de la graduation.

La charge des sphères électrisées chemine lentement sur leurs supports isolants et change, par conséquent, et le point d'application de la force résultante et sa direction.

L'emploi du cylindre de verre lui-même est à condamner, parce que des charges étrangères dues à des causes accidentelles peuvent très facilement s'y fixer et troubler les observations. Mais il est aisé d'éviter cet inconvénient et on n'y a pas manqué, depuis Kohlrausch, dans les reprises modernes des expériences de Coulomb : il suffit d'employer une cage de métal en communication conductrice avec le sol.

Il est plus malaisé de porter remède aux autres perturbations signalées dans ce qui précède, sauf en ce qui concerne l'influence. De celle-ci on se débarrasserait à peu près complètement en opérant dans une cage de diamètre notablement plus grand que la longueur de l'aiguille. Nous avons vu que cet excès n'était que de 8 centimètres chez Coulomb. Mais toute tentative pour astreindre l'axe de rotation à passer exactement par le centre de graduation compromettrait fatalement l'exquise sensibilité de la balance. Coulomb estimait qu'une torsion de 1° correspondait à une force exprimée par $0^{\text{dyne}}, 000\,425$ en mesure moderne. Mais il employait alors un fil d'argent si fin qu'il se rompait au moindre choc. Les balances ordinaires les plus soignées sont loin de cette perfection. C'est assez dire que les essais faits

avec ces appareils n'ont pas donné de meilleurs résultats que ceux de Coulomb. M. Crémieu a proposé récemment de recourir à l'élasticité de flexion d'un fil de verre.

Mais il est temps d'arrêter cette discussion et de nous demander quelle est, en définitive, la force probante de l'expérience de Coulomb. On trouve, à cet égard, bien des idées erronées dans la littérature courante. Les considérations que nous venons de faire vont nous aider à les redresser.

Avant tout, faisons la constatation importante que les mesures de Coulomb et celles de ses continuateurs, qui, je l'ai déjà dit, n'ont pas atteint une précision supérieure, sont loin d'être suffisantes pour qu'on puisse affirmer qu'il est démontré par là que deux petites sphères électr sées s'attirent ou se rep.ussent comme les inverses des carrés des distances. Coulomb est excusable de l'avoir dit à une époque où les méthodes de mesure étaient peu perfectionnées et où lui-même pouvait se flatter d'en avoir trouvé une pour l'électricité qui était à la hauteur de ce qu'on ne demandait alors qu'aux branches les plus avancées de la science. Et il est infiniment heureux que d'autres l'aient cru avec lui : car cette confiance nous a valu les superbes théories mathématiques édifiées sur cette base depuis Poisson. Mais il est incontestable aussi qu'à l'heure actuelle, avec ses écarts effectifs d'environ un huitième sur la valeur absolue et ses s urces d'erreur incertaines telles que nous les avons exposées, le procédé de Coulomb a donné des résultats tout à fait insuffisants pour établir la loi, même dans le cas particulier auquel il a été appliqué directement. Encore moins sera-t-il permis de dire, comme on le fait parfois, que la loi étant démontrée pour deux sphères ayant des dimensions finies, il suffit de l'étendre de proche en proche à des corps de plus en plus petits, pour qu'à la limite elle s'applique aux élé-

ments derniers de l'électricité. C'est se faire une idée aussi fausse que possible du processus de la démonstration. Il faut dire, tout au contraire, que, si le postulat de Coulomb est vrai, *il ne s'applique qu'aux éléments derniers*, et que l'expérience des sphères ne *peut* donner que des résultats approchés.

Voici, en effet, quelle doit être la marche du raisonnement, marche que Coulomb, sans doute, entrevoyait d'une manière au moins confuse. Reprenons encore l'analogie de la mesure de l'arc de cercle. Pour remplacer sans erreur l'élément circulaire par un élément rectiligne, nous devons faire voir : 1° que le premier est toujours compris entre le côté du polygone inscrit et celui du polygone circonscrit semblable ; 2° que la différence de longueur entre ces côtés, et, partant, entre l'un d'eux et l'élément circulaire, tend vers zéro quand ces côtés eux-mêmes tendent vers zéro. Nous voyons maintenant apparaître immédiatement les lignes générales de la démonstration à faire. Le primo est hors de notre portée. Nous ne connaissons pas deux lois des forces entre lesquelles la vraie loi devrait rester nécessairement comprise, quelles que soient les grandeurs des masses et leurs distances. Mais nous pouvons réaliser le secundo *partiellement*, et c'est en cela uniquement que consiste la valeur du procédé de Coulomb. Seulement, il faut alors le compléter par une considération qu'il n'a faite qu'implicitement. Quand les dimensions des conducteurs sont considérables par rapport à leurs distances, on constate avec la loi de Coulomb des discordances d'autant plus grandes que ce rapport est plus grand. A mesure qu'il décroît, par exemple quand, la distance restant constante, on diminue le rayon des sphères, l'écart devient constamment plus faible. De cette loi de décroissance on conclut alors avec vraisemblance, mais avec vraisemblance seulement, que si l'on pouvait aller plus loin que le point où les difficultés

d'ordre expérimental obligent de s'arrêter, l'écart diminuerait toujours davantage et qu'à la limite, c'est-à-dire pour des dimensions nulles des sphères, en d'autres termes pour des points électrisés, il serait rigoureusement nul.

Si telle est la portée de la démonstration de Coulomb, on aperçoit du même coup les raisons qui empêcheront toujours qu'on ne lui donne la rigueur démonstrative nécessaire. Il devient dès lors illusoire de s'entêter à chercher des perfectionnements du côté des procédés de mesure des forces électriques, dans le chimérique espoir de trouver la loi de Coulomb vérifiée sur de petits conducteurs. Si on la vérifiait exactement avec un appareil assez précis, on serait, au contraire, sûrement victime d'une illusion.

Nous laissons au lecteur le soin d'adapter au cas de la balance magnétique la critique détaillée que nous venons de faire subir à la balance électrique. Certaines causes d'erreur y subsistent sans changement, telle la parallaxe dans la lecture des angles. D'autres, comme le changement de distribution, y sont remplacées par des sources d'incertitude équivalentes, notamment la difficulté de déterminer le point d'application de la résultante des forces magnétiques. Au surplus, le détail de la discussion importe peu ici, puisque la méthode est identique à celle de la balance électrique et qu'elle comporte la même impossibilité radicale d'arriver à une démonstration rigoureuse.

Pour ne pas donner un développement exagéré à notre travail, nous renoncerons d'ailleurs par la suite à envisager la loi de Coulomb dans son application aux phénomènes magnétiques. Contentons-nous de dire qu'elle peut être démontrée d'une manière satisfaisante par des méthodes indirectes, dont celle de Gauss par la déviation d'une boussole au moyen d'un barreau aimanté fournit un bon exemple.

L'introduction de la constante diélectrique dans le but de tenir compte de la nature du milieu ne rentre pas davantage dans notre plan. Nous nous bornerons à l'étude des milieux homogènes.

Mais nous ne pouvons quitter la balance de torsion sans parler d'un autre usage auquel on a voulu la faire servir, en quoi on a été fort mal inspiré.

2. — *La proportionnalité des forces aux masses électriques*

On dit souvent que la loi de Coulomb a une seconde partie, savoir que les actions attractives et répulsives sont proportionnelles au produit des masses électriques. Cette seconde partie se démontrerait également au moyen de la balance, de la manière suivante : Les deux sphères ayant pris une charge quelconque, et l'équilibre étant établi à une distance déterminée par une torsion connue, on fait toucher à l'une des sphères une troisième sphère de même grandeur. Par raison de symétrie, la charge doit alors se partager également, et si on replace la seconde sphère dans la balance, elle doit être équilibrée, à la même distance que la première fois, par une torsion moitié moindre, puisque sa charge est maintenant réduite après le contact à la moitié de ce qu'elle était primitivement.

Nous ne discuterons pas les chiffres obtenus par Coulomb, et nous n'examinerons pas davantage les causes d'erreur du procédé, d'abord parce qu'on s'est complètement trompé quand on a attribué à l'illustre physicien l'intention de vérifier l'énoncé relatif à la proportionnalité des forces au produit des masses; ensuite parce que cet énoncé ne saurait être contrôlé par aucune expérience, vu qu'il résulte purement et simplement de la définition même de la masse élec-

trique. D'où vient en effet cette notion de masse électrique? Ne pouvant atteindre l'électricité en elle-même pour la soumettre à nos mesures, nous sommes obligés de nous adresser à l'un de ses effets mesurables, et l'effet choisi dans ce but au début de l'électrostatique est justement l'attraction ou la répulsion d'un corps électrisé sur un autre. Nous disons que deux corps électrisés, identiques de forme et de situation, ont des masses égales quand ils produisent une action identique sur un troisième. Dès lors, nous devons dire que quand un de ces corps produit sur le troisième une action moitié moindre, sa masse est aussi moitié moindre. En termes plus généraux, la masse est proportionnelle à la force par définition, et par suite il ne peut être imaginé aucune expérience où l'on démontrerait cette proportionnalité *par la mesure des forces*. Cela n'aurait aucun sens.

Nous avons supposé jusqu'ici la troisième masse invariable. Si nous prenons la seconde à un moment quelconque de sa variation et si nous la fixons en faisant varier la troisième, nous devons dire de même que celle-ci varie aussi proportionnellement à la force. La force est donc à la fois proportionnelle aux deux masses; elle l'est à leur produit.

La gloire de Coulomb a donc été fort mal servie par ceux qui lui ont prêté des vues aussi contestables, et ce n'est pas sans étonnement qu'on voit des considérations de ce genre discutées et abritées sous l'autorité d'un si grand nom par des auteurs justement estimés, depuis Biot jusqu'à la récente édition du *Traité de Physique* de Winkelmann. C'est d'autant plus incompréhensible que les chiffres apportés dans cette discussion sont ceux-là mêmes que Coulomb a obtenus dans une recherche fort différente, et dont le but était pourtant défini avec une clarté qui ne laisse rien à désirer. C'est celle qui fait l'objet du quatrième Mémoire sur

l'électricité et le magnétisme. Le titre d'abord l'annonce explicitement : « Où l'on démontre deux principales propriétés du fluide électrique : la première, que ce fluide ne se répand dans aucun corps par une affinité chimique ou par une attraction élective, mais qu'il se partage entre différents corps mis en contact uniquement par son action répulsive ; la seconde, que dans les corps conducteurs, le fluide parvenu à l'état de stabilité est répandu sur la surface du corps, et ne pénètre pas dans l'intérieur ».

C'est dans l'établissement de la première que Coulomb fait l'expérience des sphères égales qui se partagent la charge, mais il la fait avec des sphères de *matières différentes*, le cuivre et la moelle de sureau, et il la recommence encore avec deux disques égaux, l'un en fer, l'autre en papier. Il constate que le partage se fait d'une manière absolument indépendante de la *nature* des conducteurs. Quant à la proportionnalité des forces au produit des masses, il n'en est pas plus question ici que dans ses recherches expérimentales sur la variation des forces en fonction de la distance, qui font l'objet des mémoires antérieurs. Cette proportionnalité est toujours admise *à priori*.

On peut se demander maintenant ce que prouve l'expérience de Coulomb telle qu'elle a été malencontreusement modifiée par ses imitateurs, c'est-à-dire faite avec des boules égales de même nature. Car enfin, si ses auteurs se sont mépris sur sa signification, elle a dû pourtant en avoir une, qui n'est évidemment plus celle que Coulomb avait en vue.

L'interprétation suggérée ordinairement, c'est que l'électricité se comporte effectivement comme un fluide matériel dans son passage d'un conducteur à un autre, et que par conséquent elle est représentée correctement par cette image dans toutes les questions du même genre. C'est quelque chose sans doute, mais ce n'est pas suffi-

sant. C'est même très peu, puisque dans d'autres questions l'idée de fluide se montre tout à fait inadéquate. Il faut donc que nous trouvions une interprétation assez générale pour s'adapter, s'il est possible, à toutes les hypothèses particulières qu'on peut faire sur la nature de l'électricité.

Nous en obtenons une qui répond à cette condition si nous considérons l'expérience comme démontrant, dans ce cas particulier, que deux masses électriques réunies produisent une action égale à la somme de leurs actions respectives quand elles agissent séparément. C'est là un principe très important, implicitement admis autrefois dans un grand nombre de raisonnements, et mis en lumière dans les travaux plus récents sous le nom de *principe de la superposition des états électriques*. On lui donne une forme plus générale en considérant sur une masse donnée, l'unité positive par exemple, l'action résultante de plusieurs autres conducteurs chargés. Si pour une valeur donnée des charges de ces conducteurs, l'action est f_1, dans un autre état f_2, dans un troisième f_3, etc., la force F dans le cas où l'on donnerait à la fois toutes ces charges aux divers conducteurs, sera la résultante de $f_1, f_2, f_3, \ldots$

Or, ce principe n'est nullement évident, et il n'est pas une conséquence de la définition de la masse électrique au moyen de la force. En effet, rien *à priori* ne s'oppose à ce que deux états électriques superposés réagissent l'un sur l'autre de manière que la force dans ce nouvel état soit différente de la simple résultante. La définition de la masse nous obligerait de dire alors que les masses ne s'ajoutent pas algébriquement, puisque les forces ne le font pas.

Comparons maintenant le principe de la superposition des états électriques à l'expérience en question. Dans la première mesure, avant le contact, on avait deux états électriques identiques superposés, si l'on admet comme

évident que la symétrie est une raison suffisante pour regarder comme identiques les états des deux sphères qui se touchent : dans la seconde, on n'en avait plus qu'un. La comparaison des mesures montre que dans le premier cas la force est deux fois plus grande que dans le second. Donc, cette expérience vérifie le principe en question dans le cas de deux états identiques. Mais on aurait dû chercher ensuite à le démontrer dans le cas de deux états quelconques. Pour cela on n'avait qu'à continuer les mêmes opérations sur des boules *inégales*, en ayant soin de mesurer la force successivement sur l'une des deux, la plus grosse, par exemple, prise seule, puis sur la même après le contact, puis enfin sur la petite après le contact. On aurait pu aussi réitérer les contacts avec des boules égales, de manière à réduire les charges successivement à la moitié, au quart, au huitième, et ainsi de suite.

III. — Méthodes indirectes

1. — Méthode de Laplace et Bertrand

Avec les méthodes indirectes, nous allons maintenant arriver à des résultats beaucoup plus satisfaisants au point de vue de la rigueur, bien que ne jouissant pas de la même généralité, comme nous l'avons fait observer plus haut. C'est dans cette substitution de méthode, bien plus que dans les perfectionnements du mode opératoire, que consiste le véritable progrès réalisé dans cette question depuis le temps de Coulomb.

La première de ces méthodes, la plus célèbre, est celle qui s'appuie sur le fait expérimental que la charge élec-

trique, en équilibre sur un conducteur, réside exclusivement à la surface externe de ce conducteur, et ne pénètre en aucune façon à l'intérieur. Elle possède d'abord un avantage d'ordre pratique, c'est que la propriété en question se prête à une foule de vérifications diverses, dont quelques-unes peuvent atteindre un assez haut degré de précision. Négligeant ici les formes multiples sous lesquelles on la présente ordinairement dans les cours, retenons seulement la fameuse expérience de Cavendish, sur les demi-sphères conductrices qui enveloppent une sphère électrisée concentrique. Tous ces conducteurs étant portés par des pieds soigneusement isolés, on sait que si un contact est établi momentanément entre la sphère intérieure et l'enveloppe, et qu'ensuite celle-ci soit retirée, on retrouve sur elle la totalité de la charge primitivement communiquée à la sphère intérieure. Celle-ci de son côté ne manifeste plus alors la moindre trace d'électricité. Toutes les causes de perturbation sont ici réduites au minimum : il n'y a plus à redouter pratiquement que l'insuffisance d'isolement des supports entre le moment où les demi-sphères sont écartées, et celui où l'électromètre est mis en communication avec la sphère intérieure. Mais cela ne dure qu'un instant. D'autre part, la sensibilité connue de l'électromètre permet de se rendre compte de l'approximation obtenue dans la mesure. Dans les expériences très soignées qu'il a faites à ce sujet à l'imitation de Cavendish, Maxwell a reconnu que l'erreur d'observation ne pouvait dépasser $\pm \frac{1}{26\,000}$.

Coulomb et Cavendish ont, les premiers, indépendamment l'un de l'autre, essayé de montrer que le fait de cette distribution exclusivement superficielle de l'électricité sur une sphère est incompatible avec toute autre loi d'action que celle de l'inverse du carré des distances. Leurs raisonnements sont trop évidem-

ment défectueux pour qu'il y ait lieu de nous y arrêter, mais nous devons leur donner acte de cette divination instinctive d'une conséquence juste qui n'a pu être établie rigoureusement que longtemps après.

C'est à Laplace qu'on attribue l'honneur de l'avoir démontrée sous cette forme équivalente, qu'il n'y a point d'autre fonction de la distance que l'inverse du carré, pour laquelle soit satisfaite la condition qu'une couche sphérique uniforme n'exerce aucune action sur un point intérieur à cette couche. J. Bertrand a simplifié l'appareil analytique de la démonstration de Laplace. Il choisit un point à l'intérieur d'une sphère électrisée superficiellement, et calcule les actions contraires exercées sur ce point par les masses que découpent sur la surface deux cônes égaux infiniment petits opposés par le sommet en ce point. Faisant alors la somme de toutes ces actions de part et d'autre d'un plan qui coupe la sphère perpendiculairement au diamètre qui passe par le point, et donnant à la force la forme la plus générale d'une fonction de la distance, il montre aisément que l'équilibre n'est possible que si cette fonction est l'inverse du carré.

Tel est, en substance, le raisonnement de Laplace et de Bertrand. Il ne semble avoir soulevé jusqu'ici aucune objection. Nous croyons néanmoins que la critique à laquelle nous allons le soumettre y montrera un point faible de nature à compromettre sa force probante. Le nœud de l'argument est dans la considération des forces qui s'exercent à l'intérieur du conducteur et qui doivent s'y faire équilibre, de manière que leur résultante soit nulle en tout point qui n'est pas sur la surface ou en dehors de la sphère. On conçoit très bien, en effet, que si une masse électrique est supposée alors introduite dans ce milieu, les forces répulsives mutuelles des éléments de cette masse s'exercent sans obstacle et que

les éléments se repoussent jusqu'à la surface même, où ils seront arrêtés.

Mais existe-t-il à l'intérieur d'un conducteur des forces émanées de la charge qui couvre la surface? L'affirmation est absolument gratuite. Et si même il y en avait, et si elles étaient inversement proportionnelles au carré des distances, suivraient-elles encore la même loi dans le milieu isolant extérieur? Cette proposition, admise implicitement, est aussi dénuée de fondement que la première.

D'abord, l'équilibre à l'intérieur du conducteur peut résulter aussi bien de l'*absence de toute force* que de l'antagonisme de forces contraires équivalentes; cela ne peut faire de doute. Dans ce cas, le conducteur agirait comme un écran dans le sens ordinaire du mot, et l'intérieur serait dans la même situation au point de vue électrique qu'une chambre obscure où n'existe aucun phénomène lumineux, non parce que les ondes s'entre-détruisent, mais parce qu'elles sont arrêtées à la paroi. Et de fait, la théorie du champ électrique adopte ce point de vue, puisqu'elle suppose toutes les lignes de force dirigées vers le dehors.

En second lieu, la loi des forces pourrait être extrêmement différente dans les milieux conducteurs et dans les milieux isolants. L'énorme dissemblance de leurs propriétés électriques respectives semble nous inviter à le croire. Sans doute, nous n'en possédons pas la preuve directe, mais nous ne tenons pas davantage la preuve de leur similitude. Dès lors, comment baser une démonstration valable sur cette similitude? A supposer que le raisonnement de Laplace et de Bertrand soit efficace, il prouverait donc tout au plus que *dans un milieu conducteur* la force est en raison inverse du carré des distances. Mais ce n'est pas ce qui est en question. C'est dans le diélectrique que nous cherchons à connaître la loi de la force.

En combinant le fait de la répartition superficielle de l'électricité sur un conducteur avec le théorème de Faraday sur l'influence, autre fait expérimental facile à vérifier, on peut faire un pas de plus. Rappelons d'abord le sens du théorème. Quand une enveloppe conductrice entoure complètement une masse électrique, elle se couvre par influence de deux charges exactement égales en valeur absolue à la masse influençante. L'une, de signe contraire à celui de cette masse, est tout entière sur la face interne, l'autre, de signe concordant, sur la face externe exclusivement. Si l'on met au sol l'enveloppe influencée, la charge de signe concordant passe entièrement à la terre, et l'équilibre entre la masse influençante et la couche de signe opposé répandue sur la face interne de l'enveloppe ne subit aucune modification.

De là M. L. Graetz (1) tire l'argument suivant :

Considérons deux sphères conductrices concentriques. Soit sur la sphère intérieure une charge + E. Par conséquent, la sphère creuse aura une charge — E sur sa face interne, et les deux charges, par raison de symétrie, auront une distribution uniforme. Si notre résultat est correct, nous devons avoir toujours sur la sphère extérieure la même quantité — E avec une distribution invariable, si petite que soit la sphère influençante, pourvu qu'elle reste chargée de + E et concentrique avec l'autre. Le potentiel en tout point de l'espace est $\varphi = U + V$, V étant le potentiel dû à la couche — E, V celui de la couche + E. Mais V reste invariable, si petite que soit la sphère intérieure. D'où il suit que le potentiel U d'une sphère chargée est indépendant de

(1) *Handbuch der Physik*, par A. Winkelmann, t. IV, pp. 23 et suiv., 2e édit. — M. Graetz n'emprunte pas l'un et l'autre fait à l'expérience, comme on le fait ici pour donner à la fois une forme plus simple et une base plus solide au raisonnement.

son rayon R. Or, cela ne peut avoir lieu que pour la loi de Coulomb.

M. Graetz calcule ensuite le potentiel U pour un point situé en dehors de la sphère, en lui donnant la forme la plus générale d'une fonction de la distance r des masses agissantes à ce point, et il montre que l'expression obtenue ne peut être indépendante de R que si la fonction potentielle est de la forme $a + \frac{b}{r}$ et par suite la force de la forme $\frac{c}{r^2}$.

Le progrès, par rapport à la marche de Laplace et Bertrand, saute immédiatement aux yeux. La force est considérée, cette fois, sur un point *en dehors* de la sphère agissante, et, par conséquent, dans le milieu diélectrique. Il y a lieu, cependant, d'insister sur ce point, que M. Graetz ne traite pas encore assez explicitement. Pour calculer le potentiel, on fait la somme des rapports de la charge présente sur chaque élément de la surface à sa distance au point choisi. Or, la moitié environ des directions de ces distances traversent la sphère, et, par conséquent, on semble admettre encore ici que la force suit la même loi à l'intérieur des conducteurs et dans le diélectrique. Mais, pour lever cette difficulté, il nous suffira d'invoquer une seconde fois le fait que le potentiel est indépendant du rayon de la sphère. Nous ferons donc décroître indéfiniment le rayon R de la sphère intérieure de manière à réduire la surface chargée à un simple point électrisé. A la limite, nous nous trouvons alors précisément dans les conditions du postulat de Coulomb, et nous obtenons bien l'action entre deux points électrisés séparés par un diélectrique homogène.

Avec une dernière restriction pourtant, et une restriction peut-être très gênante. La démonstration suppose la charge inductrice + E ainsi que la charge

induite — E réparties uniformément sur des surfaces sphériques. On peut se demander si elle ne serait pas viciée si la distribution était changée. En tout cas, le calcul du potentiel deviendrait, semble-t-il, impossible. Dès lors, la conclusion manquerait de généralité. Une difficulté semblable sera rencontrée dans la méthode de M. Pellat. La méthode de Maxwell semble seule l'avoir résolue jusqu'ici, comme on le verra plus loin dans la démonstration de M. Bragg.

2. — *Méthode de M. Pellat*

M. Pellat a publié récemment un Cours d'Électricité où l'électrostatique est établie sans le secours de la loi de Coulomb. Ses motifs, en adoptant cette marche, étaient moins dans l'insuffisance des preuves alléguées en faveur de cette loi que dans la nécessité de tenir compte dans son énoncé de la constante diélectrique, ce qui, logiquement, ne permet pas de s'en servir lorsque la force est considérée comme se propageant successivement dans plusieurs milieux différents, et conduit à des difficultés lorsqu'on envisage les phénomènes à la surface de séparation de deux diélectriques. Il serait trop laborieux d'exposer ici d'une manière élémentaire la série des déductions qui se présentent dans ce système. Contentons-nous de constater que c'est le théorème de Gauss qui joue alors le rôle principal, et que c'est de ce théorème que se déduit finalement la loi de Coulomb, comme application particulière. Or, le théorème de Gauss contient implicitement un postulat équivalent à celui de Coulomb. Voilà pourquoi ils se déduisent facilement l'un de l'autre et peuvent se remplacer dans l'enchaînement des propositions de l'électrostatique.

Voici l'énoncé ordinaire du théorème de Gauss : Le flux de force total qui sort d'une surface fermée est égal à la quantité d'électricité contenue dans son intérieur multipliée par le facteur constant 4π. La quantité d'électricité peut être répartie à volonté en une ou plusieurs masses distinctes de signe quelconque. Si elle est égale à zéro ou se compose de sommes égales de masses positives et négatives, le flux est nul. Quant au facteur 4π, il résulte d'une convention arbitraire, fort utile d'ailleurs, en sorte que le sens de la proposition est que le flux de force est proportionnel à la quantité d'électricité en question.

Rappelons maintenant ce qu'on entend par le flux de force. Considérons un petit élément de surface dans une région de l'espace où il existe une force électrique. En général, exception faite pour le cas d'une surface conductrice, sur laquelle on sait que la force est toujours normale, la direction de la force fait un angle α, différent de zéro, avec la normale à la surface. Le flux de force à travers l'élément de surface considéré est, par définition, le produit de la composante normale F_n de la force par l'aire de l'élément dA. Mais comme la composante normale est $F_n = F \cos \alpha$, et la projection dN de la surface dA sur un plan perpendiculaire à F $dN = dA \cos \alpha$, le produit est le même que celui de la force par dN. Par conséquent, le flux de force par unité de surface a pour valeur numérique la composante normale de la force. Faraday, qui a le premier introduit dans la science l'idée du flux de force, l'appelait *le nombre des lignes de force* par unité de surface.

Appliquant cette définition au flux de force d'un point électrisé supposé seul dans le champ, nous trouvons que le flux est le même, par raison de symétrie, sur tous les éléments d'une surface sphérique de rayon r menée autour du point électrisé comme centre, et la force normale à cette surface. Le flux total sera donc

donné par le produit de l'aire de cette sphère et de la force à la distance r. L'aire vaut $4\pi r^2$, la force, si l'on admet le postulat de Coulomb, $\frac{m}{r^2}$. D'où, pour la valeur du flux total dans ce cas particulier, $4\pi m$. Mais on voit immédiatement que le produit $4\pi r^2$ multiplié par la force ne peut être égal à $4\pi m$ que si la force est représentée par $\frac{m}{r^2}$, c'est-à-dire que le théorème de Gauss implique nécessairement la loi de Coulomb.

Cette dépendance provient évidemment de ce que le flux de force total, pour vérifier le théorème de Gauss, doit être indépendant de la distance r, puisque r ne figure pas dans son expression $4\pi m$. D'où il suit que si on veut établir ce théorème sans s'appuyer sur la loi de Coulomb, on doit démontrer que le flux total est indépendant de la distance, ou, si l'on veut, que dans chaque tube de force particulier, le flux se conserve sans variation. Il en résultera évidemment que la somme des tubes de force gardera une valeur constante.

J. Bertrand avait déjà très nettement affirmé et mis en lumière le lien intime qui unit l'emploi des lignes de force, et par suite, le théorème de Gauss au postulat de Coulomb. Dans ses *Leçons sur la théorie mathématique de l'électricité*, professées au Collège de France, il s'exprime comme suit :

« Faraday... fait représenter aux lignes de forces non seulement la direction, mais l'intensité de l'action. La condition qu'il leur impose demande quelques explications.

» L'intensité, en chaque point, est proportionnelle à la *densité* du faisceau des lignes de forces autour de ce point. Le mot *densité* doit être défini. En chaque point passe une ligne de force. Chaque portion de l'espace, si petite qu'elle soit, est traversée par une infinité de

lignes. Faraday, pour donner un sens à la densité, suppose le nombre des lignes fini... La densité du faisceau en un point est le nombre de lignes qui traversent autour de ce point une petite surface d'aire donnée perpendiculaire à la direction des lignes de forces, ou, ce qui revient au même, le rapport du nombre des lignes de forces qui traversent une petite surface à la grandeur arbitrairement choisie de cette surface...

» L'espacement des lignes n'étant pas défini, les explications qui précèdent, en donnant un sens au mot *densité*, laissent cette densité arbitraire. Cela est vrai pour un point; mais, quand les lignes ont été choisies, leurs prolongements ne sont plus arbitraires et les densités en diverses régions de l'espace sont ainsi liées les unes aux autres...

» Supposons un système de forces défini en chaque point de l'espace par la grandeur et la direction de la force qui y est appliquée. Quand on aura déterminé le faisceau géométrique des lignes tangentes en chacun de leurs points à la force qui s'y trouve appliquée, il faudra distribuer ces lignes et régler leurs écarts infiniment petits de manière à satisfaire à la seconde condition et à représenter ces intensités. Le problème est en général impossible... Si l'accord s'établit entre l'intensité de la force qui est donnée par l'hypothèse et celle que la règle adoptée fait proportionnelle à la densité des lignes de forces, il faudra en remercier le hasard.

» Cette concordance, en général impossible, est toujours assurée quand le système des forces est produit par des attractions inversement proportionnelles au carré de la distance. Faraday, sans avoir connu la démonstration de ce théorème, n'en a jamais mis en doute l'exactitude. »

Bertrand démontre ensuite que « la loi d'attraction en raison inverse du carré de la distance, lorsque la force est dirigée vers le point attiré, est la seule qui

permette l'emploi des lignes de forces ». Son raisonnement est celui-là même qui nous a servi dans le même but. Quant à l'argument au moyen duquel Bertrand croyait ensuite établir, à la suite de Laplace, que le postulat de Coulomb est le seul qui se concilie avec la distribution superficielle sur un conducteur, nous avons déjà reconnu qu'il n'est pas suffisamment fondé.

C'est le théorème de Faraday sur l'influence, déjà mis en œuvre par M. Graetz, qui va nous permettre d'y arriver par une autre voie, aussi simple que sûre. M. Pellat s'en sert d'abord pour établir la relation mathématique dite relation de Poisson, et aboutir ensuite au théorème de Gauss par une démonstration assez compliquée. Mais il est possible d'obtenir le même résultat d'une manière beaucoup plus rapide.

Soit d'abord une sphère chargée à l'intérieur d'une seconde sphère concentrique. Toutes les lignes de force émanées de la charge de la première se trouvent entre sa surface et la surface intérieure de la seconde, sur laquelle elles se terminent à une charge induite égale et de signe opposé. Faisons maintenant croître à volonté le rayon de la sphère extérieure et décroître jusqu'à zéro celui de la sphère intérieure, tout en les laissant concentriques. Il y aura toujours autant d'électricité sur chacune des deux, et partant le nombre des lignes de force demeure sans changement. Leur distribution et leur direction ne varient pas davantage à cause de la symétrie. Donc le flux de force total reste invariable. Il est toujours mesuré par le produit de l'intensité et de la surface intérieure de la plus grande des sphères. Mais cette surface est comme le carré du rayon. Donc l'intensité de la force sera comme l'inverse du carré. Par raison de symétrie il en est de même dans chaque tube de force considéré séparément, et par suite dans chaque tube de force le flux reste absolument invariable à quelque distance qu'on le considère des extrémités.

Allons plus loin. Si nous supposons à l'enveloppe extérieure qui subit l'influence une forme quelconque, ainsi qu'à l'enveloppe intérieure, si même nous supposons à l'intérieur plusieurs masses électriques non communicantes, de signe quelconque, le théorème de Faraday nous apprend encore que la quantité induite à l'intérieur de l'enveloppe reste toujours égale en valeur absolue à la somme algébrique des quantités inductrices, et qu'elle est de signe contraire. Donc, encore une fois, toutes les lignes de force qui correspondent à l'excès des charges inductrices d'un certain signe sur celles de signe opposé, c'est-à-dire à leur somme algébrique, se terminent à la surface fermée du conducteur influencé et cela quel que soit son éloignement, et quelle que soit la répartition des masses dans son intérieur. Toutes ces lignes seront coupées par une surface fermée qui enveloppe l'ensemble des masses inductrices, et comme leur nombre, c'est-à-dire le flux, est indépendant de la distance, il donne toujours au total la même somme que si toutes les masses influençantes se trouvaient au centre d'une sphère. Il vaut toujours $4\pi M$. C'est le théorème de Gauss. Si nous considérons ensuite le cas d'une surface qui ne contient aucune masse électrique, il suffit de remarquer que les tubes de force la traversent deux fois sans modification du flux. Le flux à l'entrée est donc égal au flux à la sortie, et comme, par convention, on donne à la composante normale de la force le signe + quand elle est dirigée vers l'extérieur, le signe — quand elle l'est vers l'intérieur, ces flux donnent une somme algébrique nulle.

L'emploi du théorème de Gauss dans le but d'en tirer le postulat de Coulomb demande encore quelque attention. M. Pellat se contente du raisonnement suivant. Appliqué à une sphère, le théorème donne $4\pi r^2 K \varphi = 4\pi m$ d'où $\varphi = \frac{m}{Kr^2}$, φ étant l'intensité du champ, définie par

le quotient de la force par la masse. On suppose ensuite qu'il y ait en un point A de la surface de cette sphère un point électrisé dont la charge soit m', et on conclut immédiatement : la force qui agit sur ce point est $f = \varphi\, m' = \frac{mm'}{Kr^2}$.

La conclusion, nous semble-t-il, n'est pas immédiate, parce que l'introduction de m' dans le champ va troubler la distribution des lignes de force. C'est l'objection déjà rencontrée dans la démonstration de M. Graetz. La formule $4\pi r^2 K \varphi = 4\pi m$, qui suppose le champ absolument symétrique, n'est donc plus applicable en ce point où la dissymétrie atteint son maximum. Nous trouverons une marche plus satisfaisante dans la méthode de M. Bragg, qui sera exposée tout à l'heure.

Auparavant, ajoutons encore une réflexion sur la difficulté signalée dans les méthodes de Bertrand et de Graetz au moment où l'on calcule l'action de masses électriques sur un point dont elles sont séparées par un trajet accompli successivement à travers une portion du conducteur et ensuite dans le diélectrique. Il est certain, nous l'avons dit, que l'action ne peut suivre la même loi dans le conducteur et dans le diélectrique. La constante diélectrique au moins devrait être différente, quand bien même la loi aurait la même forme. Comment se fait-il alors, se demande M. Pellat, que cette hypothèse donne dans le calcul de Bertrand, comme d'ailleurs dans tous les cas analogues, le même résultat que le raisonnement correct? Les considérations précédentes donnent, à notre avis, la clef de cet apparent paradoxe. En réalité, les lignes de force ne traversent pas les conducteurs, mais elles se recourbent de manière à présenter à distance suffisante la même distribution que si elles émanaient d'un centre unique. Reprenons, par exemple, les deux sphères concentriques, et faisons décroître jusqu'à zéro le rayon de la

sphère intérieure. Sur cette sphère, en chaque point et à chaque instant de la variation, il y a une force attractive vers le dehors inversement proportionnelle au carré du rayon. Il est clair que le résultat serait le même dans l'hypothèse d'une force répulsive émanée du centre et suivant la même loi de l'inverse du carré.

La remarque de M. Graetz sur le théorème de Faraday nous fournit aussi la démonstration très simple, annoncée plus haut, du théorème connu qu'une sphère agit sur un point extérieur comme si toute sa masse était réunie au centre. En effet, nous en tirons directement qu'elle agit de cette manière sur tout point appartenant à une surface sphérique concentrique, parce qu'alors les lignes de force en dehors de la sphère intérieure ne varient pas, quel que soit le rayon de cette sphère. Donc, dans tous les cas où les lignes de force ne cesseront pas d'être réparties uniformément sur la surface, la sphère agira comme un point unique de même masse situé en son centre. Or, c'est ce qui a lieu dans l'action d'une sphère sur un point extérieur, quand le point est assez éloigné et sa charge assez faible. Cela ne peut d'ailleurs avoir lieu qu'approximativement, à cause de la mobilité des charges le long de la surface conductrice, contrairement à ce qui s'observe dans le problème correspondant de la gravitation. Le théorème n'est donc rigoureusement exact que dans le cas des sphères concentriques.

3. — *Méthode de M. W.-H. Bragg* (1)

On sait que Maxwell, pour achever de préciser le concept des lignes de force et le rendre plus apte au traitement mathématique, a supposé que la force existait dans le milieu diélectrique sous la forme d'une

(1) Philosophical Magazine, t. 34 (1892), p. 18.

contrainte, consistant en une tension suivant les lignes de force en même temps qu'en une pression latérale dans toutes les directions d'un plan perpendiculaire à la force. Ainsi s'expliquent respectivement les actions attractives et répulsives. Cette contrainte se produirait sur un fluide incompressible qui est censé pénétrer tous les corps, les conducteurs comme les isolants. Mais dans les premiers il se meut sans rencontrer d'obstacle. Dans les autres, il se trouve partagé comme entre des diaphragmes imperméables mais élastiques répondant aux surfaces de niveau. Un excès de ce fluide accumulé en un point repousse autour de lui le fluide en mettant en tension les diaphragmes. C'est ce que Maxwell appelle le courant instantané de *déplacement* au moment de la charge. Une raréfaction du fluide en un point produit un déplacement inverse et, par suite, tend les diaphragmes en sens opposé.

Ce que nous avons dit plus haut, d'après J. Bertrand, de l'impossibilité d'un système de lignes de force non régies par la loi de Coulomb, fait soupçonner sans doute que cette image mécanique du champ contient déjà implicitement dans son simple énoncé le postulat de Coulomb. Il en est bien ainsi effectivement, et nous allons le montrer une fois de plus. Sous la forme actuelle, nous verrons du reste plus clairement encore qu'auparavant comment le postulat s'introduit.

C'est par le qualificatif *incompressible* appliqué au fluide électrique qu'il est amené. Considérons, en effet, une sphère électrisée positivement. Le fluide est donc repoussé symétriquement dans toutes les directions et les surfaces de niveau (les diaphragmes) sont elles-mêmes des surfaces sphériques. Or, si le fluide est incompressible, et alors seulement, la quantité de fluide déplacée entre deux surfaces de niveau sphériques consécutives est partout la même, et comme ces surfaces croissent avec le carré du rayon, les déplace-

ments correspondants suivant le rayon sont en raison inverse du même carré. Or, le déplacement suivant le rayon est précisément ce qui représente ici la force élastique.

Cependant il faut observer que cette remarque, pas plus que le raisonnement de Bertrand et celui de M. Pellat, ne nous donne pas encore directement la loi de l'action *d'un point électrisé sur un autre*. Mais la théorie de Maxwell, en transportant dans le milieu le siège de l'énergie électrique, va nous donner le moyen de combler cette lacune. Nous suivrons la marche indiquée par M. Bragg, en la modifiant un peu pour la rendre tout à fait élémentaire.

Soit donc un point de charge Q, c'est-à-dire une accumulation de l'excès Q du fluide électrique en ce point. Tout autour, le fluide sera repoussé uniformément suivant les surfaces de sphères successives concentriques, de telle sorte que sur chaque sphère le volume déplacé soit Q et par suite qu'à la distance r le déplacement normal soit $\frac{Q}{4\pi r^2}$. Si nous appelons E la force élastique produite dans un déplacement normal égal à 1 subi par l'unité de volume, nous aurons $\frac{EQ}{4\pi r^2}$ pour le déplacement $\frac{Q}{4\pi r^2}$. Mais cette force élastique n'est pas la seule à laquelle le milieu soit soumis à la distance r. En effet, toutes les sphères extérieures à celle de rayon r ajoutent leur poussée à l'action de celle-là, et, par conséquent, la force totale à la distance r, que nous pouvons appeler la *pression* en ce point, est donnée par la somme des produits du déplacement normal par la force élastique correspondante, considérés le long d'un rayon de la sphère depuis la distance r jusqu'à l'infini. Ce n'est qu'à l'infini, en effet, que la force élastique et le déplacement s'annulent. Mais la force variant avec

le déplacement, nous devrons la calculer pour un déplacement infiniment petit dans cet intervalle, et chercher ensuite la limite de la somme de ces produits prise depuis r jusqu'à l'infini quand on les fait tendre vers zéro. En d'autres termes, il faudra intégrer la pression entre ces limites. On trouve ainsi qu'elle est égale à $\frac{EQ}{4\pi r}$.

Un artifice bien connu, employé dans les traités élémentaires pour calculer la valeur du potentiel au moyen du travail des forces électriques, permet d'arriver à cette expression sans recourir au calcul intégral.

Si l'on cherche ensuite l'énergie correspondante, toujours pour le déplacement de l'unité de volume, on verra sans peine qu'elle est donnée par le produit de ce volume unité par la moitié de la pression, de même que l'énergie d'un réservoir où un liquide s'élève à la hauteur h est égale pour l'unité de volume à $\frac{mgh}{2}$.

Et comme, sur la surface d'une sphère de rayon r et de charge Q, le déplacement total est de Q unités de volume, nous aurons pour l'énergie totale possédée par le milieu, à la distance r du point chargé, $\frac{1}{2}\frac{E.Q^2}{4\pi r}$. Ce sera aussi l'énergie à la surface d'une sphère conductrice de rayon r et de charge Q, puisque son action est la même que si toute la charge était en son centre.

Nous pouvons maintenant aborder le cas de deux sphères simultanément présentes dans le champ, avec les charges respectives Q_1 et Q_2, et de rayons respectifs r_1 et r_2, très petits par rapport à la distance d de leurs centres. Dans ces conditions, elles troubleront d'autant moins leurs champs réciproques qu'elles seront plus petites par rapport à leur distance, et par conséquent les résultats que nous allons obtenir seront d'autant plus exacts que ces petits conducteurs seront plus près

d'être de simples points électrisés. Calculons, d'après les considérations faites précédemment, l'énergie que possède chacune des sphères dans le champ résultant.

Sur la surface de la première nous avons d'abord $\frac{1}{2}\frac{E \cdot Q_1^2}{4\pi r_1}$ du chef de sa propre charge, et en outre $\frac{1}{2}\frac{E \cdot Q_1 Q_2}{4\pi d}$ du chef de la charge de la seconde. Sur la surface de celle-ci, $\frac{1}{2}\frac{E \cdot Q_2^2}{4\pi r_2}$ de par sa charge Q_2 et $\frac{1}{2}\frac{E \, Q_1 \, Q_2}{4\pi d}$ de par la charge Q_1 de la première. La somme de ces énergies est $\frac{1}{2}\frac{E}{4\pi}\left(\frac{Q_1^2}{r_1} + 2\frac{Q_1 Q_2}{d} + \frac{Q_2^2}{r_2}\right)$.

Si nous faisons varier la distance d, les termes $\frac{Q_1^2}{r_1}$ et $\frac{Q_2^2}{r_2}$ restent invariables. La variation d'énergie qui se manifeste quand on rapproche ou qu'on éloigne les deux sphères est donc mesurée exclusivement par les variations du terme $\frac{Q_1 Q_2}{d}$. Dans le premier cas, c'est de l'énergie absorbée par le milieu quand Q_1 et Q_2 sont de même signe; c'est au contraire de l'énergie dépensée par le milieu quand leur signe est différent. Dans le cas de l'éloignement, c'est l'inverse. Or, on observerait les mêmes variations de l'énergie, si les sphères Q_1 et Q_2 étaient soumises dans le champ à une force dirigée suivant la droite qui passe par leurs centres et dont l'intensité soit une fonction de la distance. Elles mesureraient alors le travail de cette force. Par un calcul calqué sur celui de la page précédente, on démontrerait que le travail en question, c'est-à-dire la somme des produits de la force par les déplacements infiniment petits suivant sa direction, s'exprimerait justement par $\frac{1}{K}\frac{Q_1 Q_2}{d}$ en valeur absolue, si la force était en raison inverse du carré de la distance.

Les choses se passeront donc toujours comme s'il

existait dans le champ une force de cette nature. On reconnaît la loi de Coulomb. L'expression ordinaire du potentiel se trouve ensuite, sans aucune peine, en remplaçant Q_2 par l'unité positive dans l'expression du travail $\frac{Q_1 Q_2}{d}$.

Nous voici donc enfin en possession d'une démonstration complète et rigoureuse de la loi de Coulomb pour le cas des attractions. Pour passer de là au cas des répulsions, nous pouvons ou bien utiliser la remarque faite plus haut concernant l'équivalence entre les forces répulsives mutuelles supposées entre les éléments d'une charge qui couvre un conducteur et les forces attractives qui sont considérées comme agissant actuellement sur eux du dehors; ou bien, plus simplement, recourir à l'égalité de la tension suivant les lignes de force et de la pression perpendiculairement à ces lignes. Celle-ci correspond aux répulsions entre éléments d'une même charge sur le conducteur.

Il est possible de simplifier davantage le raisonnement de M. Bragg. On peut d'abord se dispenser de calculer effectivement la pression résultante en un point à la distance r du centre, en remarquant que chacun des termes de la somme limite qui la représente, étant le produit d'une force par un déplacement suivant sa direction, exprime par cela même le travail nécessaire pour faire varier le rayon, ce qui donne immédiatement l'expression de la force. Pour passer de là au cas de deux sphères extérieures l'une à l'autre, considérons un ensemble de n points placés symétriquement à des distances égales du point central chargé de $+$ Q, et portant chacune la $n^{ième}$ partie de la charge $-$ Q. On supposera ces points assez nombreux pour que le théorème de Faraday reste applicable. Entre la masse $+$ Q et chacun de ces points la force sera alors $\frac{E\,Q}{4\pi r^2} \times \frac{Q}{n}$ puisque les n points se partageront la totalité du flux

issu de + Q. Enfin, en réduisant davantage le nombre des points, pourvu que tout autre conducteur soit suffisamment éloigné pour n'absorber aucune partie notable du flux, on finira par appliquer la même formule au cas de deux points seulement dont dépendra le champ tout entier.

4. — *Vérifications partielles*

Il nous faut dire encore quelques mots de certains cas particuliers qui se prêtent à des comparaisons commodes entre les résultats du calcul basé sur le postulat de Coulomb et les mesures expérimentales. Ce sont des confirmations *à posteriori* qui, à elles seules, ne suffiraient pas à justifier le postulat, parce qu'elles ne prouvent pas par elles-mêmes l'impossibilité d'une conformité également satisfaisante avec les conclusions de toute autre loi. Elles ne permettent pas d'ailleurs de préciser d'avance dans quelles conditions générales l'emploi de la loi sera légitime. Mais, sous le bénéfice de ces réserves, on doit leur attribuer une valeur très sérieuse. Jointes aux simples probabilités que donnent, comme nous l'avons vu, les anciennes tentatives de démonstration directe, elles ont inspiré longtemps assez de confiance pour qu'on n'ait pas hésité à en faire le fondement de toute la théorie de l'électrostatique. Nous ne nous occuperons ici que de celles qui consistent dans la mesure de forces d'attraction ou de répulsion résultantes calculées au moyen de la loi de Coulomb. Elles auront l'avantage de nous permettre de grouper les diverses tentatives faites par les anciens observateurs pour découvrir la loi des actions électriques.

Soit un disque circulaire plan électrisé uniformément, et la masse électrique + 1 en un point P situé sur la perpendiculaire au centre, à la distance D de la surface. On démontre, au moyen de la loi de Coulomb, que la

force au point P est exprimée par le même nombre que l'angle solide ω sous lequel le disque serait vu de ce point, multiplié par la densité σ. On a donc $F = \omega\sigma$. L'angle solide étant mesuré par l'aire de la portion de la surface de la sphère de rayon unité interceptée par le cône mené du point P comme sommet et du disque comme base, on trouve sans difficulté que $\omega = 2\pi\left[1 - \frac{D}{\sqrt{D^2 + r^2}}\right]$, r étant le rayon du disque.

Quand le point P est très près de la surface du disque, ou, en général, quand D est petit par rapport à r, l'angle solide est sensiblement égal à 2π, et la force à $2\pi\sigma$. Dans un condensateur plan tous les points d'une charge égale à celle du disque et répandue sur une surface égale, celle de la seconde armature, sont soumis à la force $2\pi\sigma$. De plus, la distribution, loin des bords, reste uniforme, et les tubes de force sont rectilignes et parallèles (1). Dans ce cas, la résultante est donnée par la somme des actions d'un des plateaux sur chacun des éléments de la charge de l'autre. Inutile d'entrer dans le détail du calcul; tous les traités le donnent en décrivant l'électromètre Thomson, dans lequel se trouve réalisée cette disposition. La valeur de la force totale est $\frac{VS^2}{8\pi e^2}$, S étant la surface du plateau mobile (entouré d'un anneau de garde qui prolonge son plan, afin d'éliminer la perturbation des bords), V la différence des potentiels, e la distance des deux plateaux.

L'électromètre de Thomson peut servir de deux manières à la vérification de la loi de Coulomb. Si les plateaux sont en communication avec des sources d'électricité assez abondantes pour maintenir constamment le même potentiel, la formule ci-dessus montre que les

(1) Nous avons donné dans la REVUE, t. XLVIII, p. 125 : *Les Fantômes électrostatiques sur les plaques sensibles*, une image d'un champ semblable obtenue directement.

attractions varient comme les inverses des carrés des distances. Mais dans ce cas on sait aussi que le produit des charges varie comme le carré des distances, à cause de la variation des capacités.

Il y aura donc une seconde manière de se servir de l'électromètre Thomson dans l'étude de la loi de Coulomb. Elle consistera à maintenir les plateaux isolés pendant qu'on fait varier les distances, et on doit trouver alors que la force totale est indépendante de la distance, bien entendu tant que cette distance restera petite vis-à-vis du rayon du disque mobile. Si on allait trop loin, la distribution changerait, et il serait impossible de faire le calcul.

Harris a employé un moyen ingénieux pour tourner cette difficulté. Sur deux lames isolantes, en verre ou en ébonite, il appliquait soigneusement des feuilles métalliques minces. Les deux lames étaient alors juxtaposées par la face non garnie, et l'ensemble formait un condensateur. Après la charge on leur enlevait leur armature métallique au moyen d'un support isolant, ce qui leur laissait à peu près toute leur charge, d'après une propriété bien connue. On obtenait ainsi des plateaux électrisés sur lesquels tout changement de distribution était empêché, ou du moins considérablement ralenti. Dans ces expériences Harris obtenait des résultats variables dont il n'a pu débrouiller suffisamment les lois, par exemple que la force entre ces deux lames électrisées variait en raison inverse de la distance. En réalité, ils se rattachent fort simplement à la loi de Coulomb. Nous allons le montrer en reprenant le cas élémentaire d'un point P soumis à l'action d'un disque de rayon r.

A mesure que nous l'éloignons du plan du disque, l'angle solide diminue, et la force avec lui. Si l'on se donne la peine facile de calculer sa valeur d'après la formule donnée plus haut, pour des valeurs de D de plus

en plus grandes par rapport à r, on reconnaîtra aussitôt que la loi change constamment, et que la variation de la force est de plus en plus rapide quand on s'éloigne davantage du plateau. La loi limite est celle de l'inverse du carré, comme Harris l'avait d'ailleurs reconnu. Mais si l'on opère entre des valeurs de la distance trop peu différentes, les erreurs inévitables des mesures pourront être du même ordre que les écarts par rapport à une certaine loi moyenne dans l'intervalle considéré. Ainsi, entre les valeurs $D = 3/4\,r$ et $D = 4/3\,r$ la force est à peu près en raison inverse de D. Entre $4/3\,r$ et $2\,r$ elle s'éloigne peu de l'inverse de la puissance 3/2, et ainsi de suite. Grâce à l'artifice employé par Harris, il est possible de charger effectivement un disque de manière que la distribution à sa surface ne varie pas sensiblement pendant la durée d'une série d'expériences, quelle que soit la distance de la charge sur laquelle on la fait agir. Il est donc possible de réaliser un dispositif assez peu différent de l'arrangement théorique qui vient d'être exposé, en présentant à ce disque, à des distances diverses, soit une petite sphère, soit un plan parallèle.

Mais ici encore il faudra toujours que les dimensions de ces conducteurs soient petites par rapport à leur distance, si cette distance n'est pas constante pour tous leurs points, c'est-à-dire chaque fois qu'on n'aura pas affaire à des disques très minces parallèles au plan de rayon r. Dans le cas contraire, les effets de l'influence se feraient sentir, et ils seraient d'autant plus énergiques que l'épaisseur du petit conducteur serait plus grande et la distance plus petite. C'est alors qu'on observerait, comme il est arrivé aux premiers expérimentateurs, des variations de la force en fonction de l'inverse d'une puissance de la distance supérieure à 2.

On ne saurait terminer cet article sans rappeler le principe d'une dernière méthode extrêmement remar-

quable, due encore à Coulomb, et basée sur une adaptation très ingénieuse des propriétés du pendule de gravitation. C'est la méthode des oscillations. Elle consiste à mesurer la période du balancement isochrone d'un petit pendule horizontal formé par une aiguille isolante courte et fine suspendue en son milieu à un fil de cocon. Cette aiguille porte à un bout un petit disque de clinquant électrisé qu'on présente à des distances variables devant une grosse sphère chargée en signe contraire. Ce sont donc les forces attractives qui se prêtent le plus facilement à l'expérience, mais elle réussit aussi dans l'étude de la répulsion. Si le postulat de Coulomb est vrai, la grosse boule agit comme si toute sa charge était réunie en son centre, pourvu que les distances soient assez grandes, et que la masse électrique du disque mobile soit petite vis-à-vis de celle de la sphère. Les formules du pendule ordinaire sont alors applicables, puisque dans l'oscillation de l'aiguille les distances du disque au centre de la sphère peuvent être considérées comme sensiblement invariables en grandeur et en direction.

Cette élégante expérience est une de celles auxquelles on attribue souvent une portée démonstrative générale, à laquelle elle ne saurait prétendre.

IV. — Conclusion

Résumons, en finissant, les conclusions de notre étude.

Il n'y a pas deux lois de Coulomb, ni deux parties de la loi de Coulomb. Elle consiste tout entière dans la proportionnalité des forces à l'inverse du carré des distances. Le reste n'est qu'un corollaire de la définition des masses. Cette loi est une loi élémentaire, c'est-

à-dire qu'elle n'est rigoureusement vraie qu'à la limite, lorsqu'on fait tendre vers zéro les éléments des masses entre lesquelles elle est supposée valoir, et encore elle n'est vraie qu'en ce sens que les actions résultantes qui en dérivent entre des conducteurs finis sont identiques à celles que mesure l'expérience.

Il s'ensuit que si on voulait la vérifier directement, il faudrait faire une série d'expériences dans lesquelles on se rapprocherait constamment de la limite, montrer qu'effectivement la loi des forces tend vers l'énoncé de Coulomb, à mesure que les conditions à la limite sont mieux vérifiées et prouver que les écarts qui subsistent doivent, à partir d'un certain point, devenir et rester plus petits que toute valeur assignable, si petite soit-elle. Cette dernière partie de la démonstration est irréalisable, et, par conséquent, le procédé direct de Coulomb ne peut conduire à la certitude.

On peut recourir aussi à des méthodes indirectes qui consistent à calculer l'effet des forces infinitésimales entre des quantités finies et à comparer les résultats du calcul à ceux de l'expérience. Ces vérifications partielles ont été faites pour un certain nombre de cas, mais quand bien même elles réussiraient pour tous les cas imaginables, elles ne suffiraient pas pour affirmer que toute autre loi serait à rejeter.

Cependant, s'il se trouvait des faits expérimentaux tels qu'il fût possible de montrer qu'ils sont incompatibles avec toute autre loi que celle de Coulomb, on pourrait en déduire que la loi de Coulomb est vraie à l'exclusion de toute autre. Or, ces faits existent. Ils sont au nombre de deux : la distribution exclusivement superficielle de l'électricité sur les conducteurs, et le théorème de Faraday sur l'influence à l'intérieur d'un conducteur fermé. Chacun d'eux, pris isolément, est insuffisant pour conclure, et c'est pour cela que la démonstration de Laplace et de Bertrand est incom-

plète. Leur combinaison seule donne une base solide aux méthodes de MM. Graetz, Pellat et Bragg.

Mais il faut remarquer encore que le champ d'applicabilité de la loi dépend du degré de précision atteint dans la démonstration expérimentale de ces deux propriétés. Il est donc possible que la loi exacte ait une forme plus compliquée que l'inverse du carré des distances, mais, en tout cas, elle s'en éloigne fort peu chaque fois qu'il s'agit de l'action résultante sur des masses finies et à distance finie. Pour de très petites masses considérées à des distances évanouissantes, on serait peut-être obligé d'ajouter des termes contenant des puissances supérieures de la distance, comme on doit compléter par des termes semblables la loi de Mariotte, celle des chaleurs spécifiques, des dilatations, etc., pour leur donner toute la généralité dont elles sont susceptibles. Et c'est peut-être ce qui pourra se présenter dans l'application actuellement tentée du postulat de Coulomb aux ions de la théorie électronique. Là, en effet, nous avons affaire à des masses d'un ordre si différent de celui pour lequel la loi de Coulomb s'est montrée valable qu'il n'y aurait pas lieu de s'étonner de la trouver en défaut. Ou plutôt, faut-il bien dire qu'elle serait prise en défaut? Elle n'est point faite pour ces cas, et elle n'en garderait pas moins toute sa valeur pour l'ordre de phénomènes auquel elle s'applique. Il suffirait alors d'expliciter cette restriction en lui donnant, par exemple, cette forme : entre des masses de dimensions comparables à leurs distances, les forces électriques élémentaires sont en raison inverse du carré des distances.

V. Schaffers, S. J.

LE PORT DE LONDRES (1)

Nous ne remonterons pas à Tacite pour établir l'antique importance du port de Londres. Il n'entre pas dans notre plan d'en retracer l'histoire. Nous ne rappellerons les origines lointaines de sa prospérité que pour souligner les avantages de sa situation géographique. Ils ont largement contribué à sa fortune comme à celle de la plupart des cités marchandes. Londres était naturellement appelée à devenir le siège principal du commerce de l'Angleterre avec le Continent. L'estuaire facile de la Tamise attirait les navires arrivés de la Baltique, de la mer du Nord, surtout des bouches de l'Escaut, et l'on sait que dès le XIIe siècle, d'actives relations commerciales s'étaient nouées entre les villes insulaires et les côtes des Pays-Bas.

Il faut descendre au XVIIe siècle, au moment où s'affirme l'hégémonie commerciale et maritime de l'Angleterre, pour assister aux véritables développements du port de Londres. Une série de circonstances favorables concourent à fixer sur les bords de la Tamise le centre du commerce universel. C'est l'acte de navigation (1651) qui assure au pavillon britannique la plus grande part des transports maritimes, et fait de Londres le marché obligatoire des colonies anglaises; c'est la fondation de la Banque d'Angleterre (1694) qui organise la circulation fiduciaire et réduit le taux de l'intérêt; l'établisse-

(1) Voir *La Fonction économique des Ports*, Revue des Questions scientifiques, troisième série, t. IX, 20 avril 1906, p. 357, et t. X, 10 juillet 1906, p. 110.

ment des compagnies à chartes, qui favorise l'essor des entreprises coloniales. C'est à cette époque aussi que remonte la création des docks de la Surrey and Commercial C°, les premiers en date de tous les docks anglais.

Devenue l'entrepôt du commerce d'importation et d'exportation du vaste empire colonial, Londres acquit sur les ports continentaux cette suprématie dont elle n'a pas encore été dépossédée aujourd'hui. Londres reste le premier port de l'Europe, tant par l'importance du tonnage des navires qui le visitent, que par la valeur des marchandises qu'il reçoit et exporte.

Le tonnage total, tant à l'entrée qu'à la sortie, s'élève pour 1905 à *17 millions 524 mille 414 tonnes* (1).

L'ensemble des importations et des exportations atteint, pour la même année, la valeur de 7 milliards 293 millions et demi de francs.

Voici, pour l'année 1903, la statistique comparée des principaux ports de l'Europe :

Londres . . .	17 075 000	tonnes
Liverpool . . .	10 992 000	»
Hambourg . .	9 156 000	»
Anvers . . .	9 115 000	»
Rotterdam . .	7 626 000	»
Marseille . . .	7 621 000	»

Au premier examen, le mouvement du port de Londres se caractérise par l'excédent considérable des importations sur les exportations, et par l'importance du commerce de transit. Le tonnage total des navires sur cargaisons relevé en 1905 se décompose en 10 591 924 tonnes à l'entrée, et 6 932 490 à la sortie, soit un excédent à l'entrée de 3 659 434

(1) Les chiffres de cette étude sont empruntés à l'*Annual Statement of the Trade of the United Kingdom* (1906) et à l'*Annual Statement of the Navigation and Shipping of the United Kingdom* (1906).

tonnes. La valeur des exportations est inférieure de 3 507 719 025 francs, soit de 22,5 p. c. à celle des importations. Tandis que Londres reçoit 32 p. c. des importations du pays tout entier, sa part dans les exportations n'atteint que 25 p. c. Si l'on tient compte des seules marchandises d'origine anglaise, la part de Londres dans l'ensemble des exportations se réduit à 19 p. c. L'insuffisance des sorties par rapport aux entrées n'est pas un phénomène particulier au port de Londres ; il s'observe dans le trafic du Royaume-Uni tout entier; il est d'ailleurs commun aux quatre grands ports de l'Europe, et il traduit, en définitive, la situation normale de toutes les nations de civilisation ancienne et pourvues de capitaux abondants. Mais là où le port est au service d'un arrière pays industriel, ce déficit des sorties est plus apparent que réel, parce qu'à l'importation de matières premières correspond une exportation de produits manufacturés, et qu'au point de vue du fret, à égalité de tonnage, la sortie est plus avantageuse que l'entrée (1). Mais Londres n'est pas le port d'expédition d'une région principalement industrielle comme Liverpool, où viennent se charger les cotons de Manchester et les fers de Birmingham ; comme Hull, alimenté par les laines travaillées à Leeds, les poteries de Nottingham et l'acier de Sheffield. C'est principalement la puissance de sa propre consommation qui explique l'excédent considérable des importations. L'immense population qui se presse sur les bords de la Tamise absorbe une large part des marchandises étrangères et coloniales qu'on y débarque ; il n'est pas douteux que l'augmentation du commerce de Londres, au cours de ces dernières années, doive être attribuée presque exclusivement aux besoins de

(1) Voir E. Dubois et M. Theunissen, *Anvers et la Vie économique nationale. Les Ports et leur fonction économique*, t. I, p. 125.

cette agglomération qui ne cesse de s'étendre, et dont la richesse continue de se développer (1).

Cette zone surpeuplée mais relativement étroite que commande l'estuaire de la Tamise constitue l'arrière pays géographique de Londres. Mais on sait qu'il n'est pas toujours possible de renfermer l'arrière pays économique d'un port dans les limites d'une portion de territoire déterminée. C'est ainsi qu'à certains égards, le Royaume-Uni tout entier forme pour Londres et Liverpool un seul hinterland indivis. Des circonstances spéciales ont fait de Londres et de Liverpool le marché national de certains produits. Il n'est guère de denrée coloniale dont la consommation soit plus généralement répandue en Angleterre que le thé. Or, sur les 9 302 713 liv. st. qui représentent, pour 1905, le total des importations dans tout le pays, Londres seule en reçoit 9 088 034 liv. st., et les statistiques n'en relèvent pas à l'entrée de Liverpool. Londres est aussi le seul marché régulier des laines coloniales, du sucre brut, du cuivre et des autres métaux précieux. Ce monopole tient à la prépondérance que Londres garde encore aujourd'hui dans le commerce d'importation et d'exportation des colonies anglaises. Les relations étroites que nous avons vues s'établir entre l'empire colonial et la métropole britannique se maintiennent à la faveur des traditions séculaires. Comment expliquer, si l'on fait abstraction de ces raisons historiques, que le commerce de Liverpool soit localisé à l'Amérique du Nord, et n'ait pénétré dans le marché colonial que là où il a pu devancer l'influence de Londres, tandis que le commerce des possessions anciennes est toujours centralisé

(1) *Report of H. M. commissioners appointed to inquire into the subject of the administration of the port of London*, p. 21.

dans la capitale? La Tamise est l'entrepôt général du café et du cacao, mais c'est sur les quais de la Mersey qu'on décharge le café et le cacao de provenance extra-coloniale; en revanche, c'est à Londres que s'entrepose le tabac des colonies, bien que Liverpool soit le marché central des tabacs (1). On a pu dire que les ports de Londres et de Liverpool se complètent plutôt qu'ils ne rivalisent, parce qu'ils se partagent le commerce transocéanique suivant les frontières de l'allégeance coloniale.

L'importance exceptionnelle du trafic propre de Londres, et le rôle considérable qu'elle joue dans l'approvisionnement du Royaume-Uni, ont largement développé la fonction transitaire du port.

Londres n'attire pas seulement les matières premières qu'appellent les besoins de sa population, et les marchandises qu'elle distribue aux quatre coins du pays; elle reçoit encore en transit une quantité considérable de produits qui viennent y chercher un marché favorable ou des facilités de réexpédition.

On a montré, à propos de Liverpool, comment les grands marchés internationaux du commerce maritime tendent à se porter sur les points où existe un grand marché national (2). Ce qu'on a pu dire de Liverpool s'applique peut-être mieux à Londres, et l'interdépendance des deux fonctions s'aperçoit plus nettement encore si l'on se reporte à la première moitié du XIX[e] siècle, au moment où le commerce de transit de la cité atteint son apogée. Il fallait, à cette époque, qu'un marché centralisât, pour toute l'Europe, le commerce d'outre-mer. Les produits exotiques étaient alors

(1) Wiedenfeld, *Die Nordwesteuropäischen Welthäfen*, Berlin, 1903, p. 273.

(2) V. *Les Ports et leur fonction économique*, tiré à part, t. I. *Le Port de Liverpool*, par M. de Rousiers, pp. 104 et 110.

un luxe coûteux, privilège d'un petit nombre de consommateurs; les ports d'importance secondaire n'en réclamaient que de faibles quantités; seule Londres, tant à raison de l'importance de son marché qu'à titre de maîtresse du commerce colonial, en importait de pleines cargaisons (1). Elle jouait ainsi, dans l'Europe moderne, le rôle qui avait appartenu autrefois à Bruges et à Venise : elle était devenue l'entrepôt général des peuples occidentaux.

Ajoutons qu'aucun port n'était assez puissant, ni assez bien organisé pour rivaliser avec celui de Londres. En 1852, Hambourg n'offre encore aux navires qu'un simple mouillage en rivière, et son port ne dessert que la zone restreinte d'un marché local. Les droits qui frappent la navigation de l'Escaut, étranglent le commerce d'Anvers.

Enfin la puissance financière de Londres a largement développé son commerce de transit.

L'activité d'un centre de commerce international dépend étroitement de la souplesse et de la solidité de son marché de capitaux; les grands entrepôts du commerce maritime exercent sur le fret une attraction d'autant plus puissante que la marchandise y trouve de meilleures occasions de vente. Or le développement des opérations de banque active le mouvement des échanges, et facilite le règlement des transactions.

Depuis que la capitale britannique est devenue le grand marché monétaire du monde, c'est-à-dire depuis près d'un siècle, il a toujours été plus facile de tirer sur Londres, et de régler des payements importants sur cette place plutôt que sur toute autre. Depuis cette époque l'Angleterre est restée fidèle à l'étalon d'or, et, de tous les instruments de circulation, l'or est le moins sujet aux fluctuations. La livre sterling a pris une importance

(1) *Report of H. M. commissioners*, p. 22.

prépondérante dans le commerce international. Le négociant de n'importe quel pays trouve avantageux d'avoir un compte courant chez un banquier de la cité, parce que la remise de traites sur Londres ou l'ouverture de crédit dans cette ville lui permet, à tout instant, grâce à la stabilité et à l'universalité de la livre, de régler ses propres marchés ou ceux de sa clientèle du monde entier (1). Si le crédit de ce négociant s'épuise et se renouvelle, si sa lettre de change circule et s'endosse sans déplacement appréciable de numéraire, c'est que ces opérations multiples et complexes ont toutes pour support une certaine quantité de marchandises qui forment la provision du tireur, la contre-partie du crédit; l'opération de banque attire ainsi la marchandise, parce que la marchandise est l'instrument, la condition du crédit. Pas n'est besoin d'ailleurs pour expédier ses marchandises à Londres, et se créditer en banque, que le producteur d'outre-mer ait trouvé acheteur dans la cité. Le mécanisme de la consignation lui permettra de tirer sur le commissionnaire qui se charge de vendre les marchandises. C'est ce qui nous amène, après avoir montré l'influence du marché financier sur le règlement des transactions, à rechercher comment ce marché financier multiplie les occasions de vente et les facilités de distribution.

Londres est la seule place du monde où les produits de toute espèce peuvent, en quantité quelconque, être expédiés à tout moment en consignation (2). Il arrive fréquemment que le producteur colonial charge ses denrées à destination de l'Europe avant d'en avoir

(1) V. Rozenraad, *The history of the Growth of London as the financial trade centre of the world*, London, 1903, pp. 15 et 18; — Id., *Le Marché de Londres*, Revue économique internationale, avril 1906, pp. 63 et suiv. — R. G. Lévy, *Les Grands Marchés financiers*, Revue économique internationale, septembre 1905, pp. 478 et suiv.

(2) Wiedenfeld, *op. cit.*, p. 282.

trouvé le placement; il n'a pas toujours la ressource de les vendre en cours de route. L'exportateur d'Australie expédie à Londres une cargaison de laines; à l'arrivée, la marchandise est consignée à l'entrepôt, le warrant est négocié en Banque, et tandis que l'expéditeur tire sur le consignataire londonnien, celui-ci vend la laine et se rembourse sur le prix. On pourra warranter ainsi le café à Hambourg et au Havre, le coton à Liverpool et à Brême, la laine à Anvers, mais c'est à Londres que les conditions se trouvent être les plus favorables pour la généralité des produits, parce que, indépendamment de l'activité du marché, c'est là qu'en règle générale l'argent est le moins cher et que le consignataire trouve le plus de fonds disponibles (1). A raison de circonstances historiques que nous avons déjà soulignées, Londres est par excellence le marché des terres les plus pauvres en capitaux; c'est aux producteurs de ces régions que la consignation offre les plus grands avantages : les courtiers et les banques ont ainsi concentré à Londres un mouvement d'affaires considérable en reliant ces pays dépourvus d'argent à la cité la plus féconde en capitaux.

Il est temps de descendre dans le détail de ce commerce de transit, d'examiner la nature des marchandises qui l'alimentent. Voici d'abord la catégorie des produits qui ne remontent la Tamise que pour être réexpédiés vers la mer : ils donnent lieu à un mouvement considérable; leur valeur atteint le chiffre de 315 452 350 francs (84 164 400 pour les marchandises taxées, 231 287 950 pour les marchandises franches de droit). Ce sont les spiritueux, le sucre, le thé, etc.

A côté de ces denrées qui n'entrent dans le port qu'à raison de l'intensité du trafic maritime et n'y subissent que des manipulations de transbordement, il en est une

(1) Wiedenfeld, *op. cit.*, p. 283.

autre catégorie, bien plus importante, qui se décharge sur les quais de Londres, à raison de l'activité du mouvement commercial : c'est avant tout le café dont l'importation est évaluée à 2 000 900 liv. st. et l'exportation à 2 280 270 liv. st.; ce sont les laines de l'Australie et du Cap, dont la presque totalité n'atteint les centres manufacturiers qu'après avoir passé par les enchères périodiques de Londres. Elles figurent au compte des importations pour une somme de 436 731 175 francs, et pour 182 257 756 francs à celui des exportations; c'est le cuivre brut dont les statistiques relèvent 14 447 tonnes à l'entrée et 10 050 tonnes à la sortie; le cacao dont l'importation se chiffre par 13 500 350 francs et dont l'exportation reprend 5 923 560 francs.

Si l'on compare au total général du mouvement commercial celui des réexportations et des transbordements, on obtient les chiffres suivants :

Mouvement commercial . .	7 293 453 800	francs
Réexportations et transb. .	2 668 529 900	»

soit 36 p. c. Cette proportion est de 25 p. c. à Hambourg, de 19 p. c. à Liverpool.

Telles sont les observations que suggère l'étude du port de Londres envisagé, si l'on peut ainsi dire, au point de vue statique. Il nous reste à examiner dans quelle mesure il progresse, à observer si, dans la marche ascensionnelle des ports, il garde constante l'avance qu'il a sur ses rivaux.

S'il fallait en croire les pessimistes, Londres serait à la veille de perdre son hégémonie séculaire. L'importance absolue de son mouvement maritime n'a point cessé de grandir, mais les statistiques accusent, depuis vingt-cinq ans environ, une décroissance relative de son trafic. Le volume absolu de son commerce augmente suivant une proportion qui ne cesse de fléchir : pour la période comprise entre 1869 et 1879, l'accroissement du tonnage net des navires sur cargaison était de

43 p. c.; il se réduit à 37 p. c. pour la période décennale suivante, et tombe à 26 p. c. en 1899. Il n'est pas sans intérêt d'observer qu'à cette même année, et pour la même période, Hambourg enregistrait un accroissement de trafic de 49 p. c., Anvers de 51 p. c., Southampton de 67 p. c., et Rotterdam de 116 p. c.

Il est manifeste que ces derniers chiffres ne traduisent pas exactement la situation respective des ports auxquels ils se rapportent. Isolés des circonstances particulières qui en déterminent la portée, ils perdent leur signification véritable, et rien ne serait moins scientifique que d'évaluer ces données abstraites suivant une commune mesure. Hambourg, Anvers, Southampton et Rotterdam sont des ports d'organisation récente, si on les compare à celui qui nous occupe; ils ne se sont mis à rivaliser avec Londres que dans la seconde moitié du XIXe siècle, au moment où le port de la Tamise avait atteint l'apogée de sa fortune. Ce sont les premiers bonds de ces nouveaux venus à la vie maritime que marque ce diagramme, les progrès rapides de la période de croissance. Tandis que ces ports jeunes retiraient le premier fruit des capitaux affectés à leurs installations nouvelles, Londres, sans précipiter comme eux son allure, pouvait garder la place qu'elle avait prise dans le commerce du monde, et ces chiffres ne prouvent point par eux-mêmes qu'elle ait vu diminuer son importance relative.

Mais il est certain que le port de Londres est en recul. On s'accorde à reconnaître, et il n'est pas douteux, en effet, que sa fonction transitaire est en péril. Les dernières études consacrées au mouvement maritime de la capitale britannique, et les témoignages recueillis par la Commission chargée d'examiner les questions relatives à l'administration du port ont établi avec certitude que Londres a perdu une grande partie de son importance comme port de distribution. Ce

déclin tient en partie à des causes d'ordre économique général, en partie à des circonstances spéciales au port lui-même. Il nous paraît intéressant de signaler les unes et les autres.

Nous avons dit qu'au moment où l'Europe naissait à la vie industrielle, il était de toute nécessité qu'un port servît d'entrepôt général au commerce du continent avec les pays d'outre-mer; Londres était naturellement appelée, par sa situation géographique et par ses relations coloniales, à jouer ce rôle de distributeur de marchandises à l'égard des ports trop modestes ou insuffisamment organisés pour alimenter un marché.

Si quelqu'un avait supposé alors, dit Douglas Owen, que sous le règne de sa gracieuse Majesté la Reine Victoria, un navire chargé de six mille tonnes de riz accosterait les quais de Hambourg, l'hypothèse eût paru quatre fois absurde, parce qu'aucun port ne pouvait fournir six mille tonnes de riz, qu'aucun navire ne pouvait arrimer un pareil chargement, que s'il se fût trouvé un navire capable de transporter cette cargaison, jamais ce navire n'aurait pu remonter le cours de l'Elbe, enfin parce que Hambourg n'aurait point su tirer parti de six mille tonnes de riz (1).

Les découvertes industrielles, la réduction des frais de transport, l'accroissement de la population et le développement de la richesse ont bouleversé les conditions de la vie économique. Les produits coloniaux tombèrent au rang des articles de consommation générale, et la nécessité d'un marché central se fit moins sentir. Les Allemands entreprirent la « construction » de l'Elbe, les péages sur la navigation de l'Escaut furent abolis : Anvers et Hambourg préludaient déjà à leur future prospérité, lorsque la création de routes commer-

(1) Douglas Owen, *Shipping Evolution*, p. 70.

ciales nouvelles vint déplacer l'axe du commerce mondial et détourner de Londres une forte part des transports maritimes.

Avant l'ouverture du canal de Suez, l'Atlantique était le théâtre du commerce universel; c'est par la route du Cap que l'Europe recevait les produits de l'Orient. La Russie venait chercher à Londres le thé amené de Chine par les navires anglais, et l'on débarquait sur les quais de la Tamise les soies destinées aux manufactures de Lyon et de Milan. Depuis le percement de l'isthme, les distances des principaux ports de l'Europe aux grands marchés commerciaux de l'Inde et de l'Extrême-Orient sont considérablement abrégées, et Londres a cessé d'être le centre de leurs relations. De la Chine et de Ceylan, les cargaisons de thé prennent la route directe d'Odessa et de Hambourg; la soie s'expédie à Venise et surtout à Marseille, où s'interceptent, ainsi qu'à Gênes et Trieste, une grande partie des marchandises de mer qui s'entreposaient autrefois sur les quais de la Tamise. Des lignes de navigation régulières amènent des navires chargés de thé des Indes à New-York en passant par le canal de Suez, tandis que six ou huit lignes de chemin de fer transcontinentales, dans l'Amérique du Nord, permettent aux États-Unis et au Canada de recevoir par l'océan Pacifique et les ports de San-Francisco et de Vancouver, les produits que Londres tirait autrefois pour eux des pays d'Orient (1).

Poussées par l'ouverture des nouvelles routes commerciales, à développer chez elles l'industrie des transports maritimes, les nations commerçantes s'affranchissaient de plus en plus de la tutelle des armateurs anglais, et tout en continuant par la puissance de son marché financier à centraliser le règlement des

(1) *Report of the Commissioners*, p. 22.

transactions internationales, Londres a vu diminuer et voit diminuer encore la participation de son port dans l'échange des cargaisons.

Anvers, Rotterdam, Hambourg et Brême tendent à supplanter le port de la Tamise ; ils remplissent, chacun à l'égard de son arrière pays, la fonction que Londres avait longtemps assumée seule. Les avantages du marché monétaire de Londres ont pu ralentir mais non pas enrayer ce mouvement. Lorsque le négociant de Hambourg, du Havre ou de New-York s'approvisionne de café au Brésil, il règle le marché par l'entremise d'une banque de la Lombardstreet, mais il importe le chargement dans son pays, sans passer par les docks de la Tamise. Le producteur colonial et le consommateur tendent à se rapprocher de plus en plus. Londres est encore le banquier mais non plus le roulier du commerce universel.

Cette part faite aux circonstances d'ordre économique général, il faut reconnaître que l'organisation du port de Londres est aujourd'hui surannée, et que ses installations ne répondent plus aux exigences du trafic.

La question du *régime* du port est la plus générale et domine toutes les autres.

On tend aujourd'hui à centraliser aux mains d'une seule autorité le gouvernement et l'administration des ports. A Londres, les attributions se partagent entre les divers pouvoirs publics et des entreprises privées.

Indépendamment de la Couronne, dont relève le contrôle douanier, voici les autorités principales qui gouvernent le port :

1° Le *Thames Conservancy Board*, chargé de l'entretien et de l'amélioration du fleuve ; c'est à lui qu'appartient la surveillance générale de la navigation ; il perçoit un droit de tonnage sur les navires. L'aire de sa juridiction varie suivant l'attribution qu'il exerce.

2° La *Trinity House* règle tout ce qui concerne le pilotage, le balisage et l'éclairage du fleuve.

3° La *Watermen Company* a le privilège exclusif de délivrer, aux conditions qu'elle fixe, les licences aux gabariers ou convoyeurs d'allèges, constitués en corporation fermée.

4° La *Corporation de la cité de Londres* a la police sanitaire du port.

La propriété et l'administration des *docks*, abstraction faite de quelques docks de moindre importance qui appartiennent à des compagnies de chemin de fer et à la *Regent's Canal Company*, se répartissent entre trois grandes compagnies privées :

1° La *London and India Docks C°*.

2° La *Millwall Dock C°*.

3° La *Surrey and Commercial Docks C°*.

La transformation des installations, le perfectionnement de l'outillage d'un port supposent une direction unifiée, une ordonnance générale. Faut-il s'étonner qu'à Londres, où les responsabilités s'éparpillent, où les intérêts se contrecarrent, nul n'ait pris l'initiative des réformes? Si on ne tenait compte de la création des *Tilbury Docks*, entreprise audacieuse de la *London and India Docks C°*, on pourrait dire que le port est aujourd'hui ce qu'il était il y a cinquante ans. Or les conditions de la lutte pour le fret se sont trouvées bouleversées depuis cette époque. La substitution des steamers aux bâtiments à voiles, l'augmentation incessante du tirant d'eau, les capitaux sans cesse croissants engagés dans la construction des navires, d'autre part la concurrence toujours plus vive et la recherche du transport à moindre prix, tout concourt à donner une supériorité décisive aux ports les mieux organisés pour offrir aux navires un mouillage facile et profond, pour assurer la rapidité et le bon marché des opérations de mise en cale et de déchargement. A aucun point de vue, le port de Londres ne répond à ces exigences. Ni la Tamise, en amont de Gravesend, ni les docks, en

dehors de ceux de Tilbury, n'offrent une profondeur suffisante pour les grands navires de la marine marchande.

Le port ne présente pas davantage une longueur et une surface de quais suffisantes pour la commodité des diverses manipulations. Londres n'a pu développer ses installations avec la même aisance que les ports de création moderne. A Liverpool, les deux rives de la Mersey bordent le fleuve d'un cordon de 44 kilomètres de quais, propriété exclusive du *Mersey Docks and Harbour Board*. Mais Londres s'est vu doter, à de longs intervalles, d'une série de bassins isolés les uns des autres par des établissements privés. Ces enclaves se sont perpétuées jusqu'aujourd'hui à la faveur de cette multiplicité d'intérêts qui se coudoient dans le port.

Conçus et exécutés sans unité, les divers ouvrages du port ne sauraient concourir à une fin commune. Les quais, développés au hasard des circonstances, relient fort difficilement les bassins aux gares d'expédition des compagnies de chemin de fer. Il en résulte que la très grande majorité (75 à 80 p. c.) des marchandises qui sont amenées dans le port, ne sont pas déchargées sur les quais, mais transbordées dans des allèges, pour être distribuées aux différentes parties de Londres par le Regent's Canal ou par le cours supérieur du fleuve. Il arrive fréquemment que ces allèges — on en compte douze mille environ — encombrent les bassins, se gênent mutuellement dans leurs manœuvres, et font obstacle aux évolutions des navires. Il en résulte des retards considérables dans la mise en cale et le déchargement; quelquefois l'engorgement des docks et l'insuffisance des voies d'accès obligent des navires à redescendre le fleuve pour éviter l'échouage à marée basse.

En vertu d'un privilège qui leur a été octroyé à la fin du XVIIIe siècle, les allèges sont exemptées du payement des droits perçus sur les navires qui péné-

trent dans les bassins; les marchandises qu'elles transportent sont exemptes de taxes à l'entrée et à la sortie. Sur les trois quarts des importations et des exportations, les compagnies des docks perdent ainsi le bénéfice des manipulations et de la manutention, et se trouvent réduites à ne percevoir que le droit établi sur le tonnage des navires. Elles ne retirent des capitaux engagés dans la construction et l'aménagement des docks qu'un très maigre revenu; leurs embarras financiers, le fractionnement de la direction et de la responsabilité empêchent les compagnies d'affecter un capital nouveau à la transformation de ces installations insuffisantes ou vieillies. C'est vainement qu'elles ont à diverses reprises sollicité du Parlement l'abrogation de la *free water clause* et l'autorisation de percevoir un droit sur le trafic des allèges; le souci des droits acquis a barré jusqu'ici la route des réformes.

Ce n'est pas le seul usage suranné, d'ailleurs, qui survit dans le port.

A Liverpool, l'armateur a exécuté son contrat lorsque la cargaison est mise à quai, c'est ensuite au destinataire à supporter les frais de triage et de délivrance. A Londres l'armateur est tenu, si le destinataire l'exige, de trier les marchandises sur le pont du navire, et de les transborder en allèges, procédé pratiquement incompatible avec le système moderne des cargaisons mixtes. Il arrive donc qu'on décharge à quai, pour trier, et qu'on charge ensuite en allèges, manipulations doublement longues et coûteuses, dont l'armateur supporte les frais. Cet accroissement de charges, ces retards dans les opérations de transbordement se traduisent en fin de compte par une augmentation du coût général de transport. Un même navire, portant une cargaison de même nature, a pu, dans des conditions normales, décharger à Liverpool jusqu'à 500 tonnes de plus qu'à Londres tout en gagnant deux jours, ce qui a permis de réaliser

une économie de 367 liv. st. sur le coût de livraison (1). Il n'est pas rare qu'à destination de Londres le fret subisse une augmentation de 2 shellings 6 pence par rapport à d'autres destinations même plus éloignées (2). Le port des navires de grand tonnage n'est plus Londres mais Liverpool. Et Southampton, qui continue d'attirer de nouvelles lignes de navigation dans ses docks, rivalise déjà lui-même avec Liverpool.

En résumé, la recherche du fret à bon marché détourne de Londres une partie du trafic maritime.

Cette étude confirme ainsi les conclusions que M. Van der Smissen a si heureusement dégagées des premières monographies relatives à la fonction des ports. L'importance du bon marché du fret est encore une fois la clef du problème : c'est d'elle, en effet, que paraissent dépendre les destinées du port de Londres.

GEORGES EECKHOUT.

(1) *Report of the Commissioners*, p. 86.
(2) Douglas Owen, *Shipping Evolution*, p. 50.

LE GRISOU [1]

Coup sur coup, deux épouvantables catastrophes sont venues rappeler l'attention sur les dangers inhérents à l'exploitation souterraine de la houille. Hier, c'était à Courrières, dans le nord de la France, qu'une explosion formidable se propageait à travers les galeries de trois sièges d'extraction et tuait plus de onze cents mineurs. Aujourd'hui, c'est au puits Bildstock, à Reden, dans le bassin de la Saar, qu'éclate un coup de grisou, qui, pour avoir fait un nombre de victimes beaucoup moindre, deux cent soixante-dix, dit-on, n'en doit pas moins être classé parmi les plus graves accidents miniers.

A la suite de ces désastres, de celui de Courrières surtout, l'opinion publique s'est émue, et l'on s'est demandé si l'on faisait vraiment tout ce qu'il est possible de faire pour assurer la sécurité à ces légions de travailleurs - ils sont près de cent mille en Belgique (2) — qui procurent à l'industrie l'alimentation en ce combustible, dont l'emploi lui a permis de prendre l'essor que l'on sait. Les critiques amères n'ont pas manqué. C'est d'ailleurs un phénomène bien connu qu'au lendemain des catastrophes se révèlent une multitude d'inventeurs ignorés, sans compter certains journalistes, qui clament que l'on ne sait rien et que tous

(1) Développement d'une Conférence faite à la Société scientifique de Bruxelles, le 26 avril 1906.

(2) Exactement — ou mieux : au minimum — 97 705 en 1905 contre 100 476 en 1904, d'après les statistiques officielles. Cf. ANNALES DES MINES DE BELGIQUE, t. XI, p. 891.

ceux, savants ou praticiens, qui ont jusque-là étudié la question, n'en ont pas saisi la véritable portée.

Je tiens à remarquer d'abord que le jour même de la catastrophe de Reden, le grisou faisait à Liévin, dans une mine voisine de celle de Courrières, trois nouvelles victimes. C'étaient deux ingénieurs et un chef porion occupés à l'étude d'un projet de captation de grisou, en vue de l'établissement d'un siège d'expériences. Cette réponse, pour être brutale, n'en est que plus éloquente; elle atteste le courage que savent déployer dans l'exercice de leur mission ceux qui assument la lourde responsabilité des entreprises minières.

Je me propose de retracer les grandes phases de la lutte engagée contre le grisou, en insistant sur les récents progrès de la technique de ces batailles souterraines. Ce sont surtout ces progrès incessants qui rendent nécessaire une mise au point périodique d'une question qui, pour avoir été souvent traitée, n'en reste pas moins, hélas, de continuelle actualité.

L'ampleur du sujet m'empêchera d'entrer dans le détail de toutes ses parties. D'autre part, le désir d'être compris des non initiés me contraindra à développer certains faits d'ordre général. Les techniciens voudront bien m'excuser.

I. — Nature et propriétés du grisou

Le grisou est un gaz naturel. Il se rencontre dans les exploitations souterraines de sel, d'argile plastique, dans les soufrières et surtout dans les mines de houille.

C'est un gaz au même titre que l'air ou le gaz d'éclairage, c'est-à-dire au sens vulgaire de ce mot. Mais sa composition chimique n'est rien moins que définie; il faut y voir un mélange de divers composés gazeux à la tem-

pérature ordinaire. Il y a, en effet, plusieurs espèces de grisou, qui diffèrent vraisemblablement entre elles par la nature des gaz composants et les proportions dans lesquelles ils se trouvent mélangés.

Jusqu'ici, l'analyse chimique n'a pu fournir de données absolument précises sur la composition du grisou : c'est qu'il est excessivement difficile d'en prélever des échantillons inaltérés, et que les méthodes d'analyse, d'un maniement très délicat, ne permettent pas de définir la nature de chacun des carbures d'hydrogène qui s'y trouvent mélangés (1). On sait toutefois que le composant dominant, ainsi que Davy l'avait reconnu en 1813, est le protocarbure d'hydrogène, ou méthane, CH_4, appelé vulgairement *gaz des marais*, dont la température critique est, d'après les expériences de Pictet, 28° sous une pression de 350 atmosphères. Certaines analyses en renseignent une teneur de 99,1 pour cent; d'autres n'en mentionnent que 77,69 pour cent. Les autres composés combustibles, dont on a parfois signalé la présence dans le grisou, sont l'hydrogène et l'éthane. Dans la partie non combustible, on trouve l'anhydride carbonique, l'azote (avec l'argon) et l'oxygène (2).

C'est surtout par leurs effets physiologiques que diffèrent les variétés de grisou. Leurs teneurs, très faibles d'ailleurs, en gaz autres que le méthane, leur donnent des odeurs différentes. Le plus souvent l'odeur du grisou est éthérée, comme celle que répand une pomme de rainette; parfois elle est infecte et rappelle celle de l'acide butyrique, que dégage le beurre ranci. Des observateurs belges ont signalé que certaines espèces de grisou brûlaient avec une flamme blanche, d'autres avec une flamme bleue, d'où les noms de

(1) Cf. Le Chatelier, *Le Grisou. Encyclopédie scientifique des Aide-mémoire Léauté*. Paris, Gauthier-Villars (sans date).

(2) Voyez, par exemple, le tableau p. 526.

« grisou blanc » et de « grisou bleu ». Le grisou blanc serait particulièrement dangereux (1). Il faut en rapprocher le « grisou vif », que les mineurs anglais distinguent tout spécialement.

Lorsque l'on pénètre dans une atmosphère suffisamment riche en grisou, on perçoit une sorte de voile réticulé, une façon de toile d'araignée. Cet effet serait dû à un manque d'homogénéité de l'atmosphère et à la variation locale de son pouvoir réfringent. On constate également un assourdissement de la voix.

Le grisou est plus léger que l'air : sa densité varie de 0,717 à 0,930. Lors donc qu'il se dégage dans une atmosphère en repos, il s'accumule au toit des galeries et gagne les parties élevées des exploitations.

Il n'est pas toxique, mais, mélangé en grande quantité à l'air, il devient asphyxiant. La limite inférieure du mélange irrespirable correspondrait à une teneur en grisou d'environ 30 pour cent. Mais il se mêle difficilement à l'air atmosphérique : il a une tendance à flotter en couche indépendante, ou encore à former d'énormes bulles ou « bouffées » noyées dans la masse du courant d'air, les « stouppions » bien connus des mineurs du Hainaut. Quand nos anciens houilleurs battaient l'air avant le tir de mines, c'était pour dissiper les accumulations locales du grisou. La précaution était bonne. Une fois mélangés, en effet, le grisou et l'air ne se séparent plus : la liquation est impossible. Or, ce mélange n'est dangereux qu'au delà d'une certaine teneur en grisou; en deçà, il est inoffensif.

Enfin, le grisou est combustible. Tout comme le gaz d'éclairage, il peut donner lieu soit à des inflammations, soit à des explosions.

La possibilité d'inflammations dans les travaux sou-

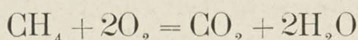
(1) Cf. Em. Harzé, *Études sur les lampes de sûreté*. ANNALES DES MINES DE BELGIQUE, t. XI, pp. 62-63. Bruxelles, 1906.

terrains, même normalement ventilés, résulte de ce que le grisou est réfractaire au mélange avec l'air atmosphérique. Il arrive ainsi qu'au toit d'un réseau de galeries flotte une couche très riche en grisou; si cette nappe vient, pour une cause quelconque, à être « allumée », l'afflux d'air étant supposé suffisant, la flamme va se propager sur toute l'étendue de la nappe, allant et venant, jusqu'à ce que la masse entière du grisou soit brûlée. Les effets mécaniques de ces inflammations sont peu considérables et ne sont pas, en tous cas, comparables à ceux des explosions. Entre autres traces du passage de la flamme, il en est qu'un examen attentif fait découvrir sur les exsudations résineuses des bois servant au soutènement des galeries. La résine, généralement terne et de couleur jaune clair sous le feu de la lampe, apparaît alors brillante et de teinte noire. Dans la zone principale de l'inflammation, la surface des taches résineuses prend l'aspect de braise.

Les inflammations de grisou peuvent occasionner des brûlures graves, mais exclusivement externes dans la plupart des cas.

Il en est autrement des explosions proprement dites. Ici le grisou se trouve diffusé dans l'air et forme avec lui un mélange détonant; le phénomène de la combustion affecte alors une allure toute différente. A la température de 650°, qui est celle de l'inflammation du grisou d'après MM. Mallard et Le Chatelier, les mélanges en toutes proportions brûlent complètement; mais dans les circonstances habituelles, le mélange gazeux se trouve à une température inférieure à 40° et une région limitée de ce mélange est seule échauffée par la source de chaleur qui provoque l'inflammation. Dans ces conditions, celle-ci ne se propage de proche en proche que pour autant que la proportion du grisou dans le mélange soit comprise entre 6 et 16 p. c. La vitesse de propagation est variable, et dépend surtout de la proportion de

grisou. Elle est sensiblement nulle aux deux limites de combustibilité, et atteint au maximum $0^{m},60$ par seconde dans des expériences de laboratoire effectuées sur une atmosphère en repos. Mais elle peut devenir beaucoup plus grande et cesser d'être pratiquement mesurable, lorsque l'expérience est effectuée sur une atmosphère en mouvement. Or c'est là la règle ordinaire ; l'agitation de l'atmosphère existe toujours dans les mines, et elle se trouve fortement accrue par la combustion même, surtout lorqu'il s'agit de travaux en cul-de-sac. Il est aisé de s'en convaincre. La combustion complète du grisou, supposé constitué exclusivement de méthane, est indiquée par l'équation :



$$CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$$

L'eau formée restant d'abord gazeuse, il n'y a pas changement de volume; mais comme la combustion dégage 188 grandes calories pour chaque unité de poids moléculaire du gaz, soit pour 16 grammes, le mélange s'échauffe, se détend et comprime les tranches du mélange immédiatement voisines. D'après les recherches de Mallard et Le Chatelier, les pressions développées par la combustion en vase clos des mélanges en proportion variable d'air et de grisou, sont les suivantes :

Proportion CH_4 sur 100 volumes du mélange. .	6,7	7,9	9,6	10	11	12,3
Pression en kilog. par cm^2	6,95	8,4	8,95	9,05	8,8	8,5

Cette compression des tranches immédiatement voisines, qui a pour résultat d'augmenter leur densité et, par conséquent, leur inflammabilité, entraîne dans toute la masse la formation d'ondes; il faut y ajouter l'effet, en sens contraire, du retrait produit par la condensation de la vapeur d'eau et le refroidissement des gaz au contact des parois des galeries. Ce phéno-

mène considéré dans l'ensemble est appelé « le choc en retour », par opposition au choc direct provoqué par l'explosion.

L'agitation produite par ces ondes explosives, explique la soudaineté de nombreuses explosions survenues dans les mines. L'expérience a montré que dans certains cas, la vitesse de propagation avait dépassé 400 mètres par seconde.

Il est vrai que cette vitesse peut être considérablement réduite, voire annulée, par le voisinage de corps solides froids, tels que les toiles métalliques, ou par la rencontre de galeries fortement humides sur une certaine longueur. On a constaté, en effet, lors de certains accidents, que l'explosion n'avait pu traverser des galeries humides et s'y était arrêtée.

L'existence, dans le mélange, de certains corps inertes est parfois sans influence sur la vitesse de propagation; il en est ainsi pour l'azote. Dans d'autres cas, notamment pour l'anhydride carbonique, qui existe presque toujours dans le grisou, il y a réduction notable de la vitesse de propagation; tandis que certains gaz accélèrent cette vitesse, ou encore changent la limite d'inflammabilité minima.

Les corps gazeux ne sont pas les seuls, d'ailleurs, à modifier les propriétés de ce mélange détonant. On en est venu à admettre, à la suite de certaines explosions, que les poussières de charbon peuvent singulièrement aggraver le danger d'une atmosphère grisouteuse. On l'admettra aisément, si l'on se rappelle les exemples d'explosion dans les raffineries de soufre et surtout dans les minoteries. Une poussière très ténue de farine, emplissant l'atmosphère d'une salle, peut rendre cette atmosphère détonante. L'état d'extrême division d'un corps solide n'est-il pas comme un acheminement vers l'état gazeux? Quoi d'étonnant dès lors qu'une atmosphère à faible teneur en grisou, voire même totalement

dépourvue de gaz inflammable, mais chargée de poussières très fines d'un charbon riche en matières volatiles, explose lorsqu'elle vient au contact d'une flamme suffisamment chaude? Aussi a-t-on admis que certaines explosions de grisou proprement dites avaient pu se propager, à travers les diverses parties d'une mine, grâce aux poussières de charbon répandues en grande quantité sur le sol et les parois des galeries, ainsi que cela se voit surtout dans certaines mines anglaises. Cette poussière, soulevée par l'explosion, forme avec l'air ambiant un mélange d'autant plus aisément inflammable que sa densité se trouve augmentée par la compression qu'y produit la poussée explosive. C'est donc une opinion généralement reçue aujourd'hui que les poussières charbonneuses en suspension dans une atmosphère grisouteuse rendent cette atmosphère plus dangereuse lorsque la teneur en grisou y est faible. D'aucuns admettent même que les poussières de charbon seules, peuvent rendre l'atmosphère explosible en l'absence de gaz inflammable. C'est la théorie qu'a soutenue M. Atkinson à propos de la catastrophe de Courrières, et les expériences de laboratoire effectuées à cette occasion semblent bien lui donner raison (1).

Les effets de ces explosions souterraines sont généralement formidables. Les galeries et les tailles s'éboulent sur de grandes longueurs. Tous les obstacles, portes d'aérage et autres, sont arrachés, et projetés au loin. Le mineur, s'il n'est pas victime de ces effets mécaniques du choc proprement dit ou du choc en retour, court grand risque d'être brûlé grièvement et, s'il a respiré le mélange détonant, peut être atteint de

(1) Report to His Majesty's Secretary of State for the Home Department on the Disaster occurred at Courrières mines, Pas-de-Calais, France. By C. H. Cunynghame, C. B., Assistant Under Secretary of State, Home Department, and W. N. Atkinson, one of H. M. Inspectors of Mines.
Presented to both Houses of Parliament by Command of His Majesty.

brûlures internes, ou, pour employer une expression à la fois vulgaire et pittoresque, « peut avaler le feu ».

Dans la plupart des cas on trouve des croûtes de coke sur les boisages, et il n'est pas rare que l'explosion détermine un incendie, qui rend très périlleux des travaux de sauvetage déjà bien difficiles.

Les inflammations et les explosions sont déterminées par le contact du mélange grisouteux avec un corps chaud. Le grisou possède à cet égard une propriété curieuse : « il retarde à l'inflammation ». Il faut entendre par là que, mis en contact avec un corps chaud, le grisou ne s'enflamme pas instantanément ; il s'écoule entre l'instant du contact et celui de l'inflammation un intervalle de temps dont la durée dépend de la température du corps chaud. Ainsi un corps à une température de 650°, température d'inflammation du grisou, n'y mettra le feu qu'après un contact de dix secondes, alors qu'une seconde suffira si sa température est de 1000°.

La présence dans le grisou de gaz combustibles autres que le méthane, celle de l'hydrogène notamment, aurait pour conséquence de supprimer cette propriété du retard à l'inflammation. C'est probablement la présence de quantités importantes de gaz plus inflammables que le méthane qui rend le grisou vif ou le grisou blanc spécialement dangereux.

Résumons brièvement ces notions. Le grisou est un gaz moins dense que l'air, s'y diffusant difficilement, mais en devenant inséparable lorsqu'il s'y trouve intimement mélangé. Il n'est pas toxique, mais il peut devenir asphyxiant.

Il se combine à l'oxygène par combustion. Ce phénomène se produit quand un mélange d'air et de grisou se trouve, pendant un temps suffisant, en contact avec un corps chaud dont la température est égale ou supérieure

à 650°. La combustion peut donner lieu à une inflammation ou à une explosion. L'explosion est possible dès que le grisou intervient dans le mélange avec l'air dans la proportion de 6 p. c. ; elle n'est plus possible quand la teneur dépasse 16 p. c. L'existence de poussières ténues de charbon, en suspension dans l'atmosphère ou pouvant y être aisément soulevées, est de nature à rendre explosive une atmosphère pauvre en grisou. Il semble même que, dépourvue de grisou, une atmosphère très poussiéreuse puisse, dans certaines conditions être explosive.

II. — Origine et dégagement du grisou

Étudions maintenant le gisement du grisou, visitons l'antre du monstre, apprenons à connaître ses procédés d'attaque et ses ruses.

On le rencontre, nous l'avons dit, dans les exploitations souterraines de divers minerais. Il s'y dégage spontanément, mais souvent ce dégagement est accéléré par le fait même des travaux d'exploitation.

Il provient de certaines substances organiques renfermées dans les roches qui composent l'écorce terrestre. Ce sont, le plus souvent, des bois fossiles. L'existence de grisou dans les mines de sel semble bien en relation avec la présence de lignites. On a cependant émis l'hypothèse, que le grisou constaté, en faible quantité, dans ces gisements de sel, ainsi que dans diverses mines métalliques, provenait de la décomposition des bois servant au soutènement des galeries. La chose est possible, bien que la relation entre le dégagement de grisou et l'existence de végétaux fossiles soit un fait avéré en ce qui concerne les argiles plastiques (1). Dans

(1) Pour la thèse contraire voyez J. Libert, *De la présence de gaz hydrocarbonés dans les exploitations souterraines des minières et des carrières*, Ann. des Mines de Belgique, t. IV, p. 48.

le bassin d'Andenne, par exemple, la rencontre de nombreux débris de bois, de cônes, de feuilles, etc., dans les argiles grasses aquitaniennes, est considérée par certains techniciens comme l'annonce d'un dégagement de gaz inflammable; ce dégagement est parfois suffisant pour provoquer des accidents; aussi l'éclairage de sûreté est-il devenu la règle dans ces mines d'argile plastique.

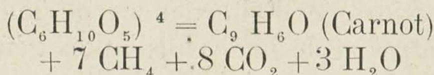
La relation directe entre le grisou et les plantes fossiles ne peut faire de doute en ce qui concerne les charbonnages; et si le dégagement de grisou est particulièrement intense dans ces exploitations souterraines, c'est qu'ici les débris fossiles de végétaux ne sont pas accidentels, mais constituent la substance même du minerai exploité, la houille.

La houille, formée d'alternances de lames ternes parfois brunâtres et de lames brillantes généralement noires et d'épaisseur variable, résulte, comme on le sait (1), de l'accumulation dans les eaux dormantes de végétaux divers, voire d'animaux. Parmi les végétaux dominent des plantes terrestres. Ces débris, empilés sur une certaine épaisseur, pour former la couche de houille, portent les traces d'une décomposition plus ou moins avancée. On a même cru pouvoir, dans ces dernières années, donner une description des micro-organismes qui ont accompli ce travail de destruction. On aurait en outre constaté, en étudiant au microscope des lames de lignite et de houille amincies au point de devenir transparentes, l'existence, dans la masse charbonneuse, « de vacuoles incolores, de grandeur et de forme variables, les plus petites sphériques ou ellipsoïdales, les plus grandes irrégulières, quelquefois apla-

(1) Voyez par exemple G. Schmitz, S. J., *Formation sur place de la houille*, REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES, avril 1906, et A. Renier, *Observations paléontologiques sur le mode de formation du terrain houiller belge*, ANN. SOC. GÉOL. DE BELGIQUE, t. XXXII, pp. 261-314, pl. XI.

ties, ayant exactement l'aspect de bulles gazeuses emprisonnées dans un milieu visqueux » (1).

Si l'on se rappelle que le grisou est principalement composé de méthane ou gaz des marais, ainsi appelé parce qu'il se dégage des eaux dormantes au fond desquelles pourrissent des organismes de toutes sortes, on acceptera comme évidente l'idée, depuis longtemps reçue, que le grisou est un gaz fossile provenant de la décomposition des végétaux qui ont formé la houille. Étant données d'une part la composition de la cellulose, la substance végétale par excellence, et d'autre part l'analyse élémentaire de certaines houilles, par exemple de la houille de Cordaïtes, la transformation de l'une en l'autre peut être représentée *grosso modo* par l'équation :



$$(C_6H_{10}O_5)^4 = C_9H_6O \text{ (Carnot)} + 7\,CH_4 + 8\,CO_2 + 3\,H_2O$$

Renault a fait remarquer que la solubilité dans l'eau de l'anhydride carbonique explique pourquoi on ne le rencontre pas dans le grisou en quantité aussi importante que l'indique ce schéma ou tout au moins en quantité équivalente à celle du méthane. En effet, le méthane, produit par la réaction, ne se trouve pas non plus occlus en totalité dans la houille; s'il en était ainsi, il devrait représenter un poids équivalent à 0,86 de celui de la houille dépourvue de gaz; pareil poids, étant donnée la faible densité du grisou, représenterait un volume énorme.

Divers observateurs se sont attachés à déterminer la quantité de grisou renfermée dans la houille de divers gisements. C'est ainsi que l'on a signalé qu'il se dégage, par tonne de houille abattue dans les charbonnages de

(1) Cf. B. Renault, *Les microorganismes des combustibles fossiles*. Bull. Soc. Ind. Minérale de Saint-Étienne, 3e série, t. XIII, pp. 866-1170 et t. XIV, pp. 1-159 et spécialement 143 et 147.

divers bassins, un volume de grisou atteignant jusqu'à 80 mètres cubes. Voici quelques exemples :

Ostrau (Moravie)	20 à 30 m^3	par tonne
Karwin (Pologne autrichienne) . .	70 à 80 m^3	»
Aix-la-Chapelle.	10 à 67 m^3	»
Sarrebrück	60 à 65 m^3	»
Ruhr	0 à 60 m^3	»

Mais ce sont là des données globales : si elles permettent d'apprécier le caractère grisouteux des exploitations, elles ne donnent pas une idée exacte des caractères propres du charbon exploité. Celui-ci, en effet, ne dégage dans la mine qu'une partie des gaz qui s'y trouvent occlus; et d'autre part, le grisou constaté dans les analyses du courant d'air de la mine peut provenir de couches autres que celles qui s'y trouvent en exploitation. Semblables mesures sont donc sans signification scientifique, puisqu'il n'y a pas de rapport certain entre les deux termes de comparaison.

Aussi quelques savants se sont-ils appliqués à déterminer par des mesures directes la teneur en grisou de quelques houilles. Renault rapporte qu'un charbon de *la Bouble*, près Saint-Éloi (Puy-de-Dôme), dégage par centimètre cube 6,94 centimètres cubes de gaz contenant 95,04 p. c. de méthane, 3,75 p. c. d'acide carbonique et 1,25 p. c. d'azote; une partie de ces gaz est libérée par simple pulvérisation, une autre par diminution de pression, une troisième par l'élévation de la température au-dessus de 100°, sans atteindre à la température de décomposition du charbon (1). MM. Fontenelle et Lecocq ont étudié de même la houille de la couche *Dix Paumes* provenant des exploitations des charbonnages de Marcinelle-Nord (Charleroi), en la soumettant exclusivement au broyage et à la diminution de pression; l'échauffement à 100° est, en effet, sans analogie avec

(1) *Op. cit.*, t. XIII, pp. 1113-1114.

les conditions de la pratique et peut même, d'après certains chimistes (1), provoquer une décomposition du charbon, en sorte que les gaz ainsi dégagés ne sont pas exclusivement des gaz occlus. Dans ces conditions, le volume de gaz dégagé par kilogramme de charbon a varié de 1,283 à 4,280 litres, soit en moyenne environ 2, 3 litres (2). Il est à remarquer que ces nombres sont des minima, car l'analyse n'a pu être faite que sur des charbons découverts depuis quelque temps déjà dans les tailles, et plusieurs heures après leur abatage. La quantité de gaz qui a pu échapper ainsi à l'analyse serait toutefois minime, d'après les recherches des mêmes ingénieurs (3).

Enfin, des constatations faites à l'occasion de certains accidents, on a cru pouvoir conclure que la teneur en grisou du charbon atteignait parfois des proportions énormes. C'est ainsi que l'on cite, à propos du coup de grisou de l'Agrappe, en avril 1879, une projection de charbon de 420 tonnes accompagnée de la mise en liberté de 400 000 à 500 000 m^3 de grisou.

On admet aisément pour les teneurs ordinaires que le grisou renfermé dans le charbon s'y trouve à l'état gazeux. Mais lorsque, comme dans le cas de l'Agrappe, la teneur devient énorme, d'aucuns croient devoir recourir à une autre hypothèse et suggèrent que le grisou pourrait être occlus dans le charbon, à l'état liquide, voire à l'état solide (4). On a objecté, avec raison, que la température critique du méthane — 28° sous

(1) Cf. Le Chatelier, *Le Grisou, op. cit.*, pp. 6-7.

(2) P. Fontenelle et E. Lecocq, *Étude sur les gaz dégagés par le broyage du charbon*, ANNALES DES MINES DE BELGIQUE, 1902, t. VII, pp. 657-685.

(3) Voir pour renseignements analogues, Le Chatelier, *Le Grisou*, pp. 21-27. En ce qui concerne le bassin de la Ruhr : *Die Entwickelung des Niederrheinisch-Westfalischen Steinkohlenbergbaues*, t. VI : *Wetterwirtschaft* ; Berlin, Julius Sprenger, 1903.

(4) Cf. Arnould, *Étude sur les dégagements instantanés du grisou*, ANN. DES TRAVAUX PUBLICS DE BELGIQUE, 1880, t. XXXVII, p. 7.

une pression de 350 atmosphères — était trop basse pour rendre vraisemblable pareille supposition.

Toutefois, on a constaté que le grisou se trouve occlus dans la houille sous des pressions qu'on aurait eu quelque peine à supposer *à priori*. En introduisant dans des trous de sonde forés en pleine couche de houille un tube muni d'un garnissage étanche et portant à son extrémité libre un manomètre métallique, on a pu mesurer la tension naturelle du grisou. Les chiffres maxima obtenus ont parfois dépassé 40 atmosphères; on a relevé 42,50 atmosphères dans des mesures effectuées, de 1885 à 1887, par MM. Watteyne et Macquet sur des couches particulièrement grisouteuses. Mais nous sommes loin des pressions nécessaires pour rendre admissible l'hypothèse d'un grisou liquide.

Concluons donc que le grisou, gaz fossile provenant de la décomposition de végétaux et peut-être aussi d'animaux, se trouve occlus sous pression dans les débris de ces organismes profondément transformés à la suite de leur ensevelissement au milieu des roches qui forment l'écorce terrestre. Il y reste grâce à l'imperméabilité du milieu dans lequel ces organismes se sont trouvés enfouis alors qu'ils étaient déjà plus ou moins putréfiés.

Tous les charbons et même toutes les houilles ne sont pas également grisouteuses. Voici quelques exemples qui le montreront. Ils sont empruntés aux analyses de M. le professeur Dr Brookmann, exécutées en soumettant à une diminution de pression accompagnée d'un chauffage à 100° cent. divers charbons du bassin westphalien (1) :

(1) *Die Entwickelung*, etc. *Op. cit.*, t. VI., p. 8; voir aussi, p. 11, quelques types étrangers.

	I	II	III	IV	V	VI	VII
	HOUILLE maigre	HOUILLE à coke	HOUILLE à coke	HOUILLE à coke	HOUILLE à gaz	CHARBON à long^e flam^e	CANNEL-COAL.
	Couche Gabe Gottes	Couche Dickebank	Couche n° 13	Couche n° 8	Couche Zoll-verein, n° 6	Couche n° 12	Couche n° 7
	Puits Stock et Scherenberg	Puits Président	Puits Helermia	Puits Pluto	Puits Hélène Amalie	Puits Rhein Elbe	Puits Mathias Stinnes
	—	—	—	—	—	—	—
Teneur en matières volatiles. . . .	20	23	26	26	31	40	54
« Grisou » dégagé en cm³	50	87	100	150	14	10	7
Ainsi composé :							
CH_4.	75	96	94	87	14	12	60
CO_2.	22	2	6	3	58	21	40
N	3	2	—	—	28	67	—
O, C_xH_y, CO. . .	—	—	—	—	—	—	—

Il se peut que cette teneur variable soit la conséquence de différences originelles résultant de la nature différente des organismes qui ont subi la putréfaction — tel serait le cas, par exemple, pour le cannel coal — ou encore du processus de la fermentation subie par ces organismes, de la rapidité avec laquelle cette putréfaction s'est opérée et du point où elle s'est trouvée arrêtée. Ce sont là des questions sur lesquelles nous sommes loin de posséder des renseignements précis.

D'ailleurs il ne faut pas perdre de vue que, pratiquement, ce ne sont pas les charbons qui renferment la plus grande quantité de gaz occlus qui sont nécessairement les plus grisouteux. Pour le mineur, le charbon le plus grisouteux est celui qui dégage spontanément le plus grand volume de grisou. Ce sont les houilles, c'est-à-dire les charbons dans lesquels les débris de végétaux terrestres, feuilles et bois, forment l'élément dominant, qui, à cet égard, sont les charbons les plus grisouteux. On a parfois signalé que la présence de houille daloïde,

nommée aussi fusain en raison de sa ressemblance avec le charbon de bois, était un indice de l'existence du grisou. La chose semble assez naturelle, si l'on se souvient de l'énorme pouvoir absorbant du charbon de bois avec lequel le « fusain » présente les plus grandes ressemblances. Mais il convient d'ajouter que si l'on tient compte de la pression sous laquelle les gaz se trouvent occlus dans le charbon, le « fusain » très poreux est apte à la fois à en emmagasiner des quantités énormes et à les abandonner très aisément dès que l'occasion s'en présentera. C'est là surtout, à mon sens, la raison de son caractère grisouteux. En thèse générale, et toutes autres choses égales d'ailleurs, le caractère grisouteux d'un charbon dépend surtout de ses qualités physiques, et spécialement de sa compacité. Plus le charbon sera compact, moins aisément il abandonnera son grisou. Le dégagement, commencé dans la mine, se poursuivra d'ailleurs après l'abatage et l'extraction, et pourra provoquer la formation d'atmosphères explosives dans des caves et dans les soutes des navires où le charbon se trouvera emmagasiné.

Les diverses couches de houille ne sont pas également grisouteuses, par suite même des différences élémentaires de leur composition ; et les diverses parties d'une même couche peuvent présenter des caractères très opposés.

Les couches de houille formées par accumulation d'organismes et presque exclusivement de végétaux, dans des tourbières plates, comme c'est le cas pour celles du terrain houiller belge, puis ensevelies sous une épaisseur considérable de boues argileuses ou sableuses, qui ont dans la suite formé les bancs de schistes et de grès séparant les couches de houille, ont, en effet, été soumises aux mouvements tectoniques.

L'écorce terrestre en se déformant a plissé cette suc-

cession de feuillets plus ou moins continus au milieu desquels les couches de houille représentent des feuillets noirs.

L'action subséquente des agents atmosphériques sur la masse plus ou moins montagneuse de nos terrains paléozoïques a eu pour conséquence d'en détruire une très grande partie, jusqu'à en arriver à donner progressivement au terrain houiller le relief que nous lui connaissons aujourd'hui. Il se fait ainsi que les diverses parties d'une couche de houille, originellement situées à une profondeur sensiblement constante, se sont trouvées disposées à des distances variables de la surface du sol.

Or il est de règle que la teneur en grisou de la couche de houille augmente à mesure qu'elle s'enfonce plus profondément. Les couches de houille ne renferment pas de grisou au voisinage du sol, c'est-à-dire près de leurs affleurements. Ce n'est qu'à une certaine distance de ceux-ci que le grisou commence à se montrer. Aussi n'est-ce souvent qu'après que les exploitations se sont approfondies que le grisou y est signalé pour la première fois. C'est ainsi qu'à Liége, où l'exploitation de la houille remonte à un temps immémorial, puisqu'elle était déjà régulière au début du XIIIe siècle, le grisou est signalé nettement pour la première fois en 1676 par Bich, puis en 1696 par Fiesen. Il est vrai qu'il avait fait auparavant de nombreuses victimes; on lit, en effet, dans les *Chroniques de Liége*, qu'en 1514 « perist une fosse à houylle à Weis dict *au Barbea*, où périrent de feu nonante huictes ouvriers » (1).

L'explication de cette loi de répartition est simple. Nous avons vu que les constatations faites, tant sur la nature du grisou que sur l'origine de la houille, condui-

(1) Wez, faubourg de Liége, fosse du Barbeau. Cf. Henaux, *La Houillerie au Pays de Liége*. Liége, Desoer, 1861, pp. 64-65.

sent à y voir un gaz fossile originellement renfermé dans la houille. Si les parties des couches voisines de la surface du sol ne sont pas grisouteuses, c'est que le grisou s'en est dégagé progressivement.

C'est d'ailleurs ce que l'on constate lorsque les travaux souterrains pénètrent dans une partie profonde de la couche. La couche non altérée, non drainée, y contient encore la majeure partie, sinon la totalité du grisou qu'elle renfermait originellement. Laissez la couche ainsi découverte en contact avec un courant d'air régulier, ou disposez les choses de manière à ce que le grisou puisse se dégager librement, la houille va se saigner progressivement; si, après quelque temps, vous cherchez à déterminer la tension du grisou au sein de la couche, vous constaterez, comme l'a fait Lindsay-Wood, que cette tension augmente progressivement au fur et à mesure que vous enfoncerez plus profondément la sonde, tant et si bien que M. Mallard a cru pouvoir dire que « le grisou imprègne le combustible comme l'eau imprègne une couche poreuse, et que son écoulement au dehors résulte exclusivement de la différence de pression entre l'intérieur de la masse et l'extérieur »; ou mieux encore « que la répartition du grisou dans l'intérieur du massif de houille se fait comme celle de la température dans une masse de même forme et soumise aux conditions thermiques que l'on obtiendrait en remplaçant le coefficient de perméabilité par celui de conductibilité, les pressions par les températures, les poids de gaz par les quantités de chaleur perdues.

J'ajouterai que la houille, en perdant son grisou, devient plus dure : « elle se recuit », dit le houilleur. Il y a donc une relation entre l'état physique de la houille et sa teneur en grisou. Celui-ci rend l'abatage plus facile. Aussi le mineur aimait-il jadis à travailler dans une atmosphère grisouteuse, dans laquelle la couche encore en place se saigne plus difficilement. Ce durcis-

sement de la veine explique aussi la difficulté que rencontre le haveur (1) à la reprise d'un chantier abandonné durant quelque temps, pendant une grève, par exemple.

La teneur en grisou d'une couche de houille cesse de croître régulièrement au delà d'une certaine profondeur, variable avec la compacité du charbon et aussi avec la perméabilité des terrains encaissants et surincombants. Le caractère grisouteux de la couche varie principalement alors suivant les conditions tectoniques du gisement, c'est-à-dire avec l'allure donnée à la couche de houille par le plissement de l'écorce terrestre. Les charnières des plis, ou « crochons », sont particulièrement dangereuses. Il en est de même des renflements de veine au voisinage des étreintes mécaniques ou zones rendues stériles par le fait du plissement. M. le professeur Max Lohest y voit un phénomène dynamométamorphique et rapproche, non sans raison, ces accumulations locales de grisou, des accumulations de pétrole et des accumulations de houille dans les charnières des plis (2). Houille et couches pétrolifères constituent, en effet, des matières tendres vis-à-vis des strates de grès et de schiste au milieu desquelles elles sont comprises. Lorsque l'on soumet à un plissement par poussée latérale semblable complexe de lits tendres et durs superposés en alternances, les matières tendres fluent et s'accumulent dans les synclinaux et les anticlinaux ; ces plis, en se compliquant ou se disloquant, provoquent la formation d'expansions bizarres et irré-

(1) Plus correctement, xhaveur, de xhaver, creuser un trou, une tranchée (xhavée, par alteration hève) (xh = h aspiré en wallon ardennais).

(2) Cf. M. Lohest, *Sur les analogies du gisement de gaz naturel aux États-Unis et du grisou en Belgique.* Ann. Soc. Géol. de Belgique, t. XIX, pp. B. 28-31. Liége, 1892, et surtout *Expériences relatives à la situation géologique des gisements de pétrole.* Congr. géol. appliquée, Liége, 1905, pp. PV. 33-35.

gulières de la couche de houille connues dans nos bassins houillers sous le nom de « queuvées ».

La pression du grisou dans la houille résulterait de ces mouvements de laminage (1), mais elle est, selon toute vraisemblance, partiellement due au tassement subi par la couche de houille sous le poids des terrains surincombants.

Mais si les crochons et les renflements analogues sont particulièrement grisouteux, ce n'est pas seulement parce que le grisou y a été spécialement localisé par suite du plissement, mais encore parce que la couche se trouve, au sein de ces amas, plus disloquée ou plus friable. Le grisou se dégage donc plus aisément de cette houille dont la compacité a été profondément altérée, parfois même entièrement détruite. La fissuration des roches, schistes ou grès, qui encaissent la couche de houille est d'ailleurs maxima dans les charnières des plis. Aussi la Commission prussienne des éboulements signalait-elle récemment ces zones comme particulièrement dangereuses.

Le grisou se dégage, en général, de façon lente de la couche de houille. C'est à la suite d'un drainage séculaire que les parties supérieures des couches se trouvent saignées. Les charbonnages établis dans ces régions sont dits sans grisou. Il en est de même de ceux qui exploitent des parties plus profondes dont le charbon est particulièrement compact et non disloqué.

Lorsque les travaux d'exploitation attaquent la veine en profondeur, le grisou se dégage plus ou moins abondamment suivant les qualités physiques des couches de houille exploitées. A cet égard, les charbonnages belges sont classés en diverses catégories : dans ceux de la première catégorie, le dégagement de grisou est

(1) Boulenger, *Considération sur la pression à l'intérieur des roches* (puits à pétrole, grisou). Bull. scient. Ass. Élèv. Écol. spécial. Un. de Liége. Nouv. série, t. I, 1898-1899, pp. 90-96.

peu important; dans ceux de la seconde, le dégagement est au contraire abondant et, suivant son intensité, les couches se trouvent rangées en deux sous-classes A et B, cette dernière étant réservée aux charbons les plus grisouteux.

Le grisou se dégage des fronts d'abatage au fur et à mesure du déhouillement. C'est là le mode direct de dégagement. Il peut aussi se déverser de façon indirecte dans l'atmosphère de la mine par les cassures naturelles des roches, des grès en particulier, et par les fractures que l'exploitation provoque dans les terrains encaissants. La raison en est simple : toutes les couches de houille du terrain houiller ne sont pas exploitées, tantôt parce qu'elles sont trop minces, veinettes ou veiniats, tantôt parce qu'elles sont trop sales, ou encore parce que le soutènement des terrains y est très difficile. Ces couches non exploitées dégagent donc leur grisou par toutes les fissures qui les mettent en rapport avec les travaux. Lorsque le grisou se déverse ainsi par une cassure en grande quantité et sous forte pression, il forme ce qu'on appelle un « soufflard ». Il est de ces soufflards dont l'existence a été de plusieurs années. Ils fournissent un grisou très pur, particulièrement propre aux analyses scientifiques. M. le professeur Brockmann a trouvé, dans les gaz d'au moins quarante soufflards du bassin westphalien, plus de 99 p. c. de méthane, le reste étant de l'anhydride carbonique.

Le dégagement direct du grisou affecte parfois une allure spécialement violente. Il est alors tellement vif et rapide qu'on le dit instantané. Ce mode de dégagement, dont certaines exploitations belges ont presque exclusivement le triste monopole, est connu vulgairement sous le nom de « volcan ».

Ces dégagements instantanés et abondants s'accompagnent de projections plus ou moins importantes de charbon généralement menu et poussiéreux. Lorsqu'il

est possible, après un dégagement de cette espèce, d'examiner les lieux avant que les éboulements soient venus en altérer la configuration, on constate souvent que le charbon projeté provient d'une excavation d'allure irrégulière, s'évasant parfois en forme de poche à l'intérieur du « ferme » (charbon encore en place). Aussi entend-on dire parfois « qu'une poche de grisou a crevé et qu'il s'est formé un volcan ».

Examinons les faits d'un peu plus près.

Les dégagements instantanés se sont produits presque exclusivement jusqu'ici dans les charbonnages situés sur la lisière méridionale du bassin houiller qui traverse toute la Wallonie, depuis la frontière allemande (Aix-la-Chapelle) jusqu'à la frontière française (Valenciennes), en passant par Liége, Huy, Andenne, Namur, Tamines, Charleroi et Mons.

On en cite de nombreux cas dans les houillères d'Élouges, de Dour, de Frameries (l'Agrappe), de Leval, d'Anderlues, de Marcinelle et aussi, quoique les cas soient plus rares ou moins bien caractérisés, dans les charbonnages de Seraing et d'Ougrée.

Or, c'est dans cette région que le terrain houiller présente, dès la surface, les allures les plus disloquées. Les coupes ou tranchées idéales construites à travers l'écorce terrestre à l'aide des plans de mines, montrent que les couches y sont affectées de nombreux replis et de multiples cassures. C'est donc là que la poussée latérale, qui a ridé toute la masse des terrains paléozoïques de la chaîne ardennaise, a, en ce qui concerne le bassin houiller du sud, fait sentir son action avec le plus de violence. Le bassin houiller se trouve d'ailleurs cisaillé sur son bord sud par une cassure, ou faille, qui a rejeté sur lui les terrains plus anciens formant le bord nord du synclinal dit de Dinant. Ce phénomène, qui constitue la manifestation la plus grandiose de la poussée tangentielle qui a ridé l'Ardenne, a évidemment eu sa

répercussion sur le mode même de plissement interne du bassin houiller. Ainsi s'explique le fait qu'au voisinage de cette grande cassure, l'allure du houiller est spécialement disloquée.

Du rapprochement de ces deux faits, on conclut naturellement à une origine dynamométamorphique des gisements à dégagements instantanés : la couche de charbon soumise à un plissement intense, s'est modifiée sous cette poussée; la répartition originelle du grisou dans la houille y a été changée; plus encore que dans les gisements modérément plissés, le grisou s'est écroulé vers les zones de moindre pression et s'y est localisé.

Des faits nombreux corroborent cette hypothèse. Dans la partie centrale du bassin du Borinage où, jusqu'à une profondeur variable de 400, 500 ou 600 mètres, le gisement s'était montré d'une régularité remarquable, il a suffi de traverser diverses failles plates, accompagnées de dislocations profondes, pour rencontrer aussitôt un gisement à dégagements instantanés. Ç'a été le cas notamment pour l'avaleresse du puits nº 4 du Couchant du Flénu. Les terrains situés sous ces failles, d'ailleurs connues dans la région de Frameries, ont eu à subir des poussées extrêmement intenses par suite du déplacement par charriage des masses surincombantes.

Les conclusions de l'étude détaillée d'un grand nombre de cas, faite par MM. Arnould (1) et Roberti Lintermans (2), sont formelles sur ce point. Les dégagements instantanés se sont concentrés, jusqu'à ce jour, dans la région des couches en allures repliées du midi, et il en n'existe aucun cas dans les veines en

(1) *Étude sur les dégagements instantanés de grisou dans les mines de houille du bassin belge.* Ann. des Travaux publics de Belgique, 1880, t. XXXVII, pp. 1-108 et 419-472, pl. I-V, VII.

(2) *Les Dégagements instantanés de grisou dans les mines de houille de Belgique.* Ibid., 1895, t. LII, 2e cahier.

grandes plateuses, écrit Arnould (1). De son côté, Roberti Lintermans remarque que sur 131 cas de dégagements instantanés examinés par lui (période 1880-1891), 109 ont eu lieu au voisinage de plis, d'étreintes, de failles, de simples cassures ou de rejets (2).

Encore faut-il remarquer pour les cas constatés en pleine allure de couches, ou dans des parties d'apparence régulière, que l'allure tectonique générale était toujours des plus disloquées.

En outre, on a souvent constaté que les dégagements brusques se concentrent dans des régions plus ou moins étendues où la couche serait spécialement métamorphique.

Enfin, les faits relatifs à la nature même de la couche de houille plaident en faveur de cette manière de voir. C'est dans ces gisements à dégagements instantanés que la tension de grisou atteint ces taux énormes : 40 atmosphères et plus, alors que dans les gisements d'allure régulière, en Westphalie par exemple, elle dépasse rarement 5 atmosphères à égale profondeur de trou de sonde. On a constaté, en outre, que des forages faits très près l'un de l'autre dans le ferme accusaient de grandes différences de pression. Il y a donc dans le sein même de la couche des zones où la houille est d'une nature spéciale, et ces zones sont très localisées et souvent indépendantes les unes des autres (3).

On a prétendu que le dégagement instantané résultait de la détente des roches stériles encaissant la couche et qui ont été comprimées par le plissement. Ces roches exerceraient ainsi une pression sur le massif de charbon et le feraient finalement sauter.

Il semble bien plus naturel d'admettre que la princi-

(1) Ibid., p. 451 et aussi p. 4, p. 461.
(2) P. 155 du tiré à part.
(3) Ibid., pp. 4-5 et passim.

pale cause est la pression propre du grisou, car il est hautement probable que le charbon, et partant le grisou qui s'y trouve occlus, ont eu bien plus à souffrir des phénomènes tectoniques que les roches stériles de grande cohérence.

M. Macquet a, à cet égard, fait une observation qui paraît décisive.

« Quand il est arrivé sur les lieux, le 19 octobre, vers 9 heures du matin, c'est-à-dire trois jours pleins après la production du dégagement, rapporte Roberti Lintermans, le front de la vallée (massif de charbon vierge) n'avait aucune consistance.

» Le charbon était réduit en poussières. Il suffisait de le toucher pour qu'il s'éboulât comme du sable sec. Cependant, à une vingtaine de centimètres de profondeur, dans l'angle levant du défoncement, en balayant à la main toute la masse inconsistante, on mit à découvert du charbon qui semblait bien être dans son état normal. Les stratifications se distinguaient nettement : sa maille était aussi serrée que celle de la veine rencontrée dans la partie supérieure de la vallée ; il fallait se servir de l'outil pour l'entamer.

» On voulut de même mettre à nu la houille du côté couchant, mais on n'y parvint pas. L'inconsistance semblait se maintenir en profondeur.

» Chose singulière, pendant les deux ou trois minutes qu'avait duré ce travail, le ferme du levant avait repris toute sa mobilité primitive.

» Ce fut par hasard que M. Macquet s'en aperçut ; en appuyant de nouveau la main sur cette partie du front, il la fit céder et s'ébouler ; à quelques centimètres de profondeur, on retrouva le charbon dur et brillant.

» Cette fois on le tint en observation et l'on put suivre à vue d'œil sa transformation.

» Sans bruit, sans foisonnement apparent, de serrée et lustrée qu'elle était, la maille devint lâche et terne et

toute stratification disparut. Cette curieuse désagrégation était sans doute accompagnée d'un dégagement de grisou, mais il ne fut pas possible de l'accuser à la lampe, à cause de la vivacité du courant d'air soufflé par deux rangs de canons (1). »

Au cours d'autres recherches, M. Macquet a poussé plus loin l'observation et rapporte les faits en ces termes :

« Le procédé de provoquer des dégagements instantanés est des plus simples. Dans un montage en veine mené à simple voie sur 2 à 3 mètres de front, on taille sans perdre de temps et l'on boise incomplètement sur une certaine longueur d'avancement, 2 mètres, 1 mètre, quelquefois moins, suivant la friabilité de la couche. Puis, deux robustes ouvriers coupent, le plus vivement qu'ils peuvent, dans les angles du montage, en empiétant sur les parois latérales, deux profonds sillons embrassant toute l'ouverture de la veine. Il n'en faut pas davantage et toute l'adresse consiste dans la rapidité d'exécution. Au fur et à mesure que les sillons avancent, la veine fraîchement recoupée et notamment celle comprise entre les deux sillons, gonfle, se disloque, se délite. En même temps, le grisou afflue, d'abord graduellement, puis par bouffées. Le crépitement de la veine s'accentue. Des pelotes de charbon de plus en plus nombreuses se détachent des parois des sillons. C'est ainsi que ces deux tranchées s'élargissent et s'approfondissent d'elles-mêmes. On n'en continue pas moins à précipiter l'excavation en faisant usage de la rivelaine. Mais bientôt le front du montage devient inabordable. Tout le ferme est manifestement en travail ; le bruissement devient intense ; au surplus, telle est l'abondance de grisou qu'il faut plonger les lampes dans la gueule des canons soufflants (conduites d'air) pour

(1) Roberti Lintermans, *op. cit.*, pp. 32-33.

les tenir allumées. La projection du front est probable, il est temps de se retirer. »

On voit par là que le travail de la veine se produit avant même que la pression des terrains ait pu se faire sentir. C'est donc bien dans la couche même qu'il faut chercher la cause du dégagement.

Dans d'autres cas, il n'y a pas projection, mais le front avance d'une pièce et parfois de plusieurs mètres.

Quoi qu'il en soit, on estime généralement que ces dégagements instantanés sont dus à la rupture de l'équilibre naturel par l'avancement des travaux d'une couche de houille renfermant par endroits du grisou sous des tensions très élevées.

« Si pour un motif quelconque, la zone de pression maxima se trouve rapprochée de la surface libre, écrit Le Chatelier, l'équilibre sera détruit et la masse de houille se brisera. A partir de ce moment les tranches du massif de houille en contact avec l'atmosphère renfermeront du gaz à une pression plus élevée qui pourra provoquer l'explosion de la houille partout où elle sera suffisamment tendre. » La dimension de l'excavation ou l'importance de la propagation du dégagement dépendra aussi du mode de répartition de la pression. Le dégagement brusque s'arrêtera lorsqu'un nouvel état d'équilibre entre la résistance du charbon et la tension du grisou se trouvera établi (1).

Bien que tout plaide en faveur de l'hypothèse d'une origine dynamométamorphique des gisements à dégagements instantanés, il semble que le charbon ne s'y trouve pas particulièrement fissuré. Il y serait, au

(1) Un éboulement du front de taille peut provoquer un dégagement brusque, parce qu'il met rapidement à découvert des zones profondes où le grisou se trouve sous forte pression. Aussi est-il parfois délicat de dire s'il s'agit de simple chute de charbon avec mise en liberté rapide d'une grande quantité de grisou, ou s'il s'agit d'un dégagement brusque suivi de projection de charbon sous la poussée du grisou.

contraire, assez compact puisque le drainage du grisou s'y fait en général de façon assez difficile, c'est-à-dire que la perméabilité y varie beaucoup d'un endroit à l'autre de la même couche.

Les praticiens considèrent d'ailleurs comme un caractère dangereux, le fait que, dans une région déterminée, la couche ne dégage pas la quantité de gaz qu'elle donne normalement : le déficit a dû s'accumuler en quelque point pour constituer alors des îlots ou nids particulièrement grisouteux.

Il semble donc que la production de dégagements instantanés soit liée non seulement à l'accumulation locale de grisou, mais encore aux caractères de perméabilité de la veine. De l'avis général, les phénomènes de l'espèce sont surtout à redouter dans les couches en une laie et encore dans les couches en plusieurs laies lorsque viennent à disparaître les intercalations schisteuses qui normalement constituent des drains par l'effet de leur porosité (1). Les clivages du charbon peuvent aussi jouer un rôle important. Dirigés normalement au front, ils facilitent l'évacuation du grisou. Au contraire, lorsque leur direction est parallèle à celle du front, la couche se saigne mal, mais le détachement du charbon est plus facile.

Ces cassures peuvent d'ailleurs constituer des réservoirs naturels dans lesquels le grisou se trouve emprisonné sous forte tension. Il serait toutefois excessif de leur attribuer un rôle prépondérant, et il me paraît tout à fait inadmissible d'assimiler aux clivages les plans de jonction de la couche avec son toit et son mur (2).

Tels sont les faits essentiels touchant la nature des gisements à dégagements instantanés.

(1) Harzé, *Des mesures à prendre en vue des dégagements instantanés de grisou*. Ann. des Trav. publics de Belgique, t. XLIII.

(2) H. Ghysen, *Quelques considérations sur les dégagements instantanés de grisou*. Revue Universelle des Mines, troisième série, t. LIX, 1902, pp. 52 et suiv.

J'ajouterai que ces phénomènes ne se sont pas produits jusqu'ici à des profondeurs inférieures à 255 mètres. Sans doute faut-il y voir l'influence du drainage séculaire du grisou. Le premier accident de l'espèce qui ait été signalé est survenu en 1847. Depuis lors, il s'en est produit plusieurs centaines dont quelques-uns formidables. C'est ainsi qu'en avril 1879, au puits de la Cour du charbonnage de l'Agrappe, le grisou refluant par le puits d'extraction, vint s'allumer à la surface. L'affluence du grisou fut si grande et se prolongea de telle sorte qu'elle put alimenter, pendant deux heures consécutives, à l'orifice du puits une flamme gigantesque de 30 à 40 mètres de hauteur qui ruina toutes les installations de surface et rendit le sauvetage impossible.

Le cube de charbon projeté par ces explosions de la veine, dont le bruit était pareil à celui du tonnerre, a atteint jusque 400 tonnes. C'est dire toute la violence du phénomène (1). Le charbon projeté est souvent froid comme glace, par suite sans doute de la rapide détente des gaz.

Il me reste à dire quelques mots des gisements secondaires du grisou.

Le grisou, avons-nous vu, se trouve occlus dans la houille sous une certaine pression. Il tend naturellement à s'en dégager; cette tendance se trouve encore augmentée par sa faible densité. Si donc il existe, au voisinage des couches, des vides dans lesquels la pression est inférieure à la tension du grisou dans la houille, le grisou s'y répandra en passant par des cassures jusqu'à ce qu'enfin un équilibre s'établisse.

Ces vides peuvent être naturels. Ceux de ce genre sont peu importants dans le terrain houiller propre-

(1) L'excavation correspondante est souvent moins forte, parce que les parois elles-mêmes se sont déplacées et resserrées.

ment dit. On cite cependant comme tels les réseaux de cassures de certaines roches (1), notamment les diaclases des grès; à la rencontre de ces vides, il se produit parfois un dégagement brusque, puis il s'établit un soufflard, dont la durée et la violence dépendent de la nature et de la disposition du réservoir grisouteux qui l'alimente.

Semblables vides naturels existent en outre dans les terrains plus récents qui, dans certaines régions comme en Campine et en Westphalie, recouvrent le gisement productif de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. C'est ainsi que dans le bassin d'Ostrau, les sables tertiaires qui recouvrent le houiller et qui sont à leur tour recouverts par des argiles imperméables, renferment souvent du grisou. Dans le bassin de la Ruhr, plusieurs puits en avaleresse ont été envahis par des gaz inflammables dans la traversée des marnes crétacigues. Il s'agit, dans ce cas, de soufflards qui prennent naissance sur des diaclases plus ou moins minéralisées. Il se pourrait toutefois, d'après certaines constatations faites lors d'un sondage à Olfen, qu'il s'agisse plutôt de gaz pétrolifères que de grisou (2).

L'importance du rôle des vides naturels n'est donc qu'exceptionnelle.

Il en est tout autrement de ceux créés artificiellement par les travaux de mine. En effet, après enlèvement des couches de houille, des vides importants subsistent dans les exploitations durant un temps plus ou moins long. Il est certes de règle aujourd'hui dans tous les bassins belges de procéder à un remblayage; dans un très grand nombre de charbonnages étrangers, on laisse, au contraire, les terrains s'ébouler spontanément. Le vide est, dans ce dernier cas, maximum; il

(1) Cf. *Die Entwickelung*, etc., Band I, pp. 255-258.

(2) Je fais ici abstraction des clivages de la houille, dont le rôle se trouve pratiquement confondu avec celui de la masse même de la couche.

n'en est pas moins d'une certaine importance dans les chantiers remblayés à l'aide des anciennes méthodes. Peut-être le remblayage hydraulique fournira-t-il à cet égard de meilleurs résultats.

Ces vides produits par les anciennes exploitations (vieux travaux, goaf ou alte mann), étant peu ou point ventilés, se remplissent tout naturellement du grisou des veines ou veinettes inexploitées; ce grisou s'y infiltre par les cassures du toit et du mur (1).

Normalement, ces gisements secondaires artificiels peuvent jouer un rôle analogue aux gisements secondaires naturels et favoriser le dégagement indirect de grisou. Nous allons voir que son importance dérive surtout de l'intervention d'un facteur externe.

Jusqu'ici, en effet, nous avons considéré le dégagement spontané du grisou. Ce gaz occlus dans la houille sous des pressions variables s'écoule vers les points de moindre pression avec une vitesse qui dépend de sa pression initiale et de la perméabilité des corps environnants, c'est-à-dire de la résistance plus ou moins grande que lui opposent les passages par lesquels il doit s'écouler.

Le dégagement progressif, direct ou indirect, se produit par une sorte de suintement ou d'exsudation. Mais si par suite d'une répartition inégale du grisou, compliquée d'une faible perméabilité de la couche de houille, une zone à haute tension vient à être mise rapidement en équilibre instable, il pourra se produire une explosion de la houille, dégagement instantané. Ce mode de dégagement est toujours direct.

On s'est demandé si les phénomènes atmosphériques, voire les tremblements de terre, ne pouvaient pas

(1) Ce grisou serait généralement plus riche en anhydride carbonique, que le grisou qui se dégage de la veine. Cf. Harzé, ANN. DES MINES DE BELGIQUE, t. XI, *op. cit.*

influencer l'écoulement et provoquer même des dégagements instantanés.

On a cherché à résoudre ces questions à l'aide de la statistique des accidents en établissant les coïncidences. C'est là une méthode peu exacte, car les dégagements instantanés non suivis d'accidents ne sont pas toujours déclarés, malgré les prescriptions réglementaires; et quant au dégagement progressif, son allure n'a généralement rien à voir avec la cause réelle de l'accident. Je ne ferai donc pas état de ces relevés.

En ce qui concerne le dégagement progressif, les recherches réellement scientifiques doivent être basées sur une étude comparative du dégagement absolu du grisou et de l'allure des phénomènes exogènes ou endogènes. Encore est-il pratiquement très difficile de distinguer dans les chantiers actifs entre le dégagement direct et le dégagement indirect. On peut toutefois, lorsque les conditions sont favorables, étudier le dégagement indirect et conclure par comparaison de l'allure du dégagement direct. Ces recherches sont très délicates et exigent un travail considérable. Elles n'ont été exécutées que dans quelques cas. On pourrait certes objecter qu'une étude globale est seule nécessaire pour la pratique; mais on répondrait avec raison qu'une connaissance exacte des diverses parties de la question peut seule permettre de réaliser un progrès, ainsi que nous le verrons par la suite.

Parmi les influences atmosphériques ou exogènes, la seule qui soit réellement intéressante est la variation de la pression atmosphérique. L'action de la température et de l'humidité de l'air extérieur, de même que l'action du vent peuvent modifier l'état de la mine de façon sensible, mais non le dégagement absolu du grisou. L'action du vent est limitée à une zone superficielle. Au delà d'une certaine profondeur, les variations de

température et d'humidité de l'air s'atténuent fortement.

Au contraire, les variations de la pression barométrique doivent *à priori* sembler intéressantes. Nous avons admis, en effet, que le dégagement du grisou est fonction de la différence existant entre la tension du grisou dans la couche de houille et la pression de l'air sur la face libre de la couche. Toutefois, si l'on se rappelle que la tension du grisou dans la couche de houille est de plusieurs atmosphères et que la variation de pression extérieure n'est dans les cas extrêmes que de 0,1 d'atmosphère au maximum, on comprendra pourquoi on n'a pu produire des observations nombreuses et précises établissant que les variations de la pression barométrique ont une influence sur le dégagement direct du grisou, et surtout sur la production des dégagements instantanés. Les études de la Commission autrichienne montrent, au contraire, qu'il n'en est rien.

Il en est autrement du dégagement indirect. Dans ces gisements secondaires naturels, le grisou se trouve primitivement sous une pression plus ou moins forte. La rencontre de ces gisements peut donner lieu à des phénomènes comparables aux dégagements instantanés (1). Dans ce cas, les variations de pression barométrique sont sans influence.

Mais une fois le soufflard réduit à sa nourriture ordinaire, son exutoire se trouve à une pression voisine de la pression atmosphérique; suivant la perméabilité du réseau nourricier, qui est en général incomparablement plus grande que celle de la houille, la pression intérieure y sera plus ou moins différente de la pression atmosphérique. D'où il résulte que son débit sera influencé de façon plus ou moins transcendante (en sens inverse de la perméabilité) par les variations de la pres-

(1) Il peut en être de même pour des vieux travaux qui seraient absolument isolés.

sion barométrique, qui seront alors de grandeur très sensible par rapport à la pression absolue.

Ce raisonnement est surtout exact pour les gisements secondaires artificiels contre lesquels on n'aurait pris aucune précaution, c'est-à-dire qui, quoique non régulièrement ventilés, se trouveraient en communication directe avec les exploitations. Dans ce cas, le grisou se trouve dans les anciens travaux à une pression sensiblement égale à la pression atmosphérique; une variation brusque du baromètre peut entraîner en un temps très court une dilatation absolue considérable, étant donné qu'elle peut atteindre 1/10 d'un volume qui se chiffre parfois par milliers de mètres cubes. En fait, des observations diverses ont établi l'exactitude de cette opinion. L'enquête de la Commission autrichienne du grisou a été à cet égard particulièrement fertile en résultats.

Il est à remarquer que de l'avis de beaucoup de praticiens, le dégagement du grisou des remblais et vieux travaux commence avant que la dépression barométrique soit sensible au baromètre. La chose est naturelle. Ces gisements secondaires jouent, en effet, le rôle de baromètre à gaz, et l'inertie d'un appareil à gaz est beaucoup moins grande que celle d'un baromètre anéroïde ou à mercure. On constate également que le dégagement est d'autant plus intense que la dépression barométrique est plus brusque, plus profonde et plus prolongée.

En ce qui concerne les relations de l'allure du dégagement de grisou avec les phénomènes endogènes, on a eu surtout en vue l'influence des tremblements de terre.

Des observations effectuées à la mine d'Hérin (Anzin) ont établi que les tremblements de terre n'avaient pas d'influence sensible sur le dégagement progressif du

grisou. Il pourrait en être autrement en ce qui concerne les dégagements instantanés. De l'examen que nous avons fait de la nature de ces phénomènes, il résulte cependant que leurs causes doivent surtout être cherchées dans les conditions tectoniques du gisement, et dans les conditions de drainage de la couche.

Pour compléter cet exposé des conditions de gisement du grisou, il faudrait encore examiner celles de deux corps dont la présence est fréquente dans les mines et qui exercent une influence marquée sur l'atmosphère grisouteuse : l'anhydride carbonique et la poussière de charbon.

L'anhydride carbonique est généralement associé au méthane dans le grisou ; mais celui que l'on rencontre dans l'atmosphère de la mine provient surtout de l'oxydation lente du charbon, de la respiration des hommes et des animaux, de la combustion des lampes et enfin de la putréfaction des matières organiques, des boisages en particulier. En outre, dans certains gisements, l'anhydride carbonique résulte d'émanations naturelles de nature spéciale.

Mais la présence de ce gaz tend à rendre moins explosive une atmosphère grisouteuse. Or nous verrons bientôt que c'est la présence de semblable atmosphère qui constitue le danger courant. Dans ces conditions, on peut mettre les choses au pis et négliger l'existence de l'anhydride carbonique.

Les poussières de charbon, au contraire, aggravent le danger d'explosion. Il faut donc envisager la possibilité de leur intervention.

Les poussières des divers gisements ne sont pas également dangereuses. Des expériences faites à la suite de la catastrophe de Courrières ont montré que les poussières de ces charbonnages étaient peut-être les plus inflammables connues jusqu'à ce jour.

Ces propriétés dérivent non seulement de la nature chimique du charbon, de sa teneur en matières volatiles et en grisou, de sa compacité, mais surtout de l'état physique des poussières, de leur ténuité, de leur humidité.

Plus la teneur en matières volatiles est élevée, plus grand semble être le danger des poussières, à égalité de grosseur de grains, mais c'est surtout à ce dernier facteur que paraît appartenir le rôle prépondérant : plus la poussière est fine, plus elle est explosive.

Enfin l'existence de poussières résulte surtout des détails d'aménagement de la mine.

Certains gisements sont particulièrement secs, tandis que dans d'autres l'humidité naturelle provoque l'abattement des poussières; d'autre part, certains charbons compacts se pulvérisent moins aisément que d'autres riches en charbon brillant ou en fusain, ou encore disloqués par les efforts tectoniques.

Mais l'existence de poussières abondantes, dans les mines anglaises, par exemple, résulte surtout de l'aménagement des transports. Dans nombre de ces houillères, les cars ou wagonnets consistent en une simple charpente dans laquelle on empile exclusivement des blocs de houille, le menu trié au râteau ou à la pelle passant au remblai. En Belgique, au contraire, les wagonnets possèdent une caisse complète dans laquelle on charge tous les produits d'abatage, sans en exclure toujours les schistes charbonneux. En outre, dans les mines anglaises, les traînages mécaniques sont en grand honneur. Les wagonnets ouverts, conduits à des vitesses de 10 à 15 kilomètres à l'heure, sont ainsi soumis à des trépidations intenses qui provoquent des bris de charbon et partant une abondante formation de poussières. Il faut avoir visité ces travaux pour se rendre un compte exact de leur nature extrêmement poussiéreuse.

On a aussi renseigné, à propos de l'accident de Courrières, que certaines haveuses mécaniques ou appareils à abattre la veine, en y creusant des sillons provoquent la formation de poussières très ténues, flottant dans l'atmosphère durant un temps considérable (1).

Tels sont les faits qu'il me fallait développer préalablement. Car c'est grâce à une connaissance approfondie de la cause du mal que l'on peut y porter remède avec chance de succès.

La question est, comme on l'a vu, assez complexe. On peut néanmoins affirmer que grâce au zèle des techniciens et des savants, elle est à cette heure bien connue.

Nous verrons que les solutions proposées pour avoir raison de cet ennemi naturel qui n'est pas en somme aussi mystérieux que l'on se plaît parfois à le dire, ont elles aussi fait l'objet de recherches longues et patientes et, je l'ajoute par avance, qu'elles ont été pleinement confirmées par l'expérience.

(A continuer.)

A. Renier,
Ingénieur au Corps des Mines.

(1) Compte rendu Soc. Ind. Min. Saint-Étienne, nov.-déc. 1906, p. 352.

VARIÉTÉS

I

LE LABORATOIRE DE PHYSIQUE

DE L'UNIVERSITÉ DE GAND

L'étude d'une science expérimentale ne peut que gagner à être complétée par un travail de laboratoire. La physique ne fait pas exception à cette règle.

Le professeur qui veut organiser un laboratoire ne tarde pas à s'apercevoir qu'il faut compter avec un certain nombre de facteurs qu'on ne peut pas négliger.

Si les élèves sont peu nombreux, il est aisé de leur faire faire des exercices instructifs et intéressants. Mais, si leur nombre vient à croître, du coup les locaux deviennent étroits, les instruments ne sont plus assez nombreux, les ressources du laboratoire se trouvent être insuffisantes et souvent le personnel est surmené; de plus, la répartition même du travail se complique; bref, toute l'organisation du laboratoire s'en ressent.

Aussi est-on satisfait, quand, malgré tout, on parvient à faire œuvre plus ou moins utile.

Plutôt que de présenter des considérations théoriques, donnons un exemple concret de l'établissement d'un laboratoire destiné à des débutants; nous permettrons ainsi au lecteur de mieux saisir toute notre pensée. Tel est le but de ces pages consacrées au laboratoire de physique de l'Université de Gand, auquel nous avons été attaché pendant plus de quinze ans.

Nous insisterons sur son organisation intérieure et nous parcourrons les exercices qui y ont été exécutés, en nous arrêtant çà et là, sur quelques détails techniques. Nous montrerons ainsi comment nous sommes parvenus à faire travailler un grand

nombre d'élèves, avec un petit personnel, dans des locaux restreints et malgré des ressources modestes.

Bien des renseignements pourront paraître superflus au lecteur profane, mais en pareille matière, un jeune professeur de physique aux prises avec les difficultés qui sont toutes d'exécution, jugera sans doute que les moindres leçons d'une longue expérience n'ont pas toujours une mince importance.

I

Le laboratoire et son organisation

Historique. — La loi du 10 avril 1890, qui réorganisa quelques parties importantes de l'enseignement supérieur, a prescrit dans les universités belges des *exercices pratiques de physique*. Elle les rend obligatoires pour les élèves aspirant au diplôme de Docteur en Sciences physiques et mathématiques et pour les candidats ingénieurs du Génie civil et des Arts et Manufactures, elle ne les impose pas aux autres catégories d'élèves.

M. Van der Mensbrugghe, actuellement professeur émérite de l'Université de Gand, fut, dès le début, chargé de la direction de ces travaux. La mission de l'y aider fut jointe à mes fonctions de répétiteur de physique. C'est ainsi que je fus appelé à prendre une part active à la création du laboratoire.

Une partie des cours de la Faculté des Sciences et tous ceux des Écoles annexées à cette Faculté, venaient d'être transférés dans le nouvel Institut de la rue Joseph Plateau. Les locaux manquaient de toute organisation au point de vue de la physique. Dans les salles qui lui étaient réservées, on n'avait même prévu ni eau, ni gaz; tout y était donc à créer.

M. Van der Mensbrugghe voulut bien me laisser, dans ce travail d'organisation, une large part d'initiative, et je me plais à rendre hommage à l'extrême bienveillance avec laquelle le directeur du laboratoire acceptait mes propositions. Nous en discutions ensemble les détails d'exécution, en conciliant au mieux les nécessités d'une installation sérieuse et pratique avec la modicité de nos ressources. Il en fut ainsi pendant les quinze années que j'ai passées à ses côtés, et qui compteront parmi les plus agréables de ma carrière.

L'organisation du laboratoire, en effet, ne fut pas l'œuvre d'un jour. Bien des circonstances, parmi lesquelles il faut rappeler le nombre croissant des élèves, exigèrent des tâtonnements et des retouches.

Nombre des élèves qui fréquentèrent le laboratoire pendant la période triquinquennale 1890-1905. — Un coup d'œil jeté sur le tableau suivant donnera une idée des difficultés qui surgirent, au cours de cette période, du fait seul du nombre croissant des élèves admis aux exercices pratiques.

ANNÉES ACADÉMIQUES.	ÉLÈVES	ANNÉES ACADÉMIQUES.	ÉLÈVES
—	—	—	—
1890-1891	25	1898-1899	106
1891-1892	33	1899-1900	102
1892-1893	64	1900-1901	110
1893-1894	72	1901-1902	148
1894-1895	67	1902-1903	133
1895-1896	90	1903-1904	144
1896-1897	103	1904-1905	150
1897-1898	91		

Le nombre des élèves eût été plus grand encore, pendant les quatre dernières années, si nous eussions disposé de plus de temps. Mais M. Van der Mensbrugghe assuma pendant cette période les charges du Rectorat, et à partir de 1901 je fus chargé du cours de Géographie mathématique, qui venait d'être créé à la Faculté des Sciences. Comme je conservai d'autre part mes attributions de répétiteur, je vis diminuer de plus en plus le temps dont je disposais pour le laboratoire, à mesure que le nombre des élèves allait en augmentant.

Nombre des séances. — Jusqu'en 1892, il n'y eut qu'une séance d'exercices par semaine et pendant le premier semestre seulement. A partir de 1892, leur nombre fut porté à trois pendant le même semestre, et il en fut ainsi jusqu'en 1895, date à partir de laquelle il y eut trois séances hebdomadaires pendant le premier semestre et deux pendant le second. Le nombre des présents par séance variait entre 27 et 31.

Tous les étudiants de l'École préparatoire fréquentaient le laboratoire pendant un semestre, y compris les élèves du grade légal, et les élèves conducteurs pour lesquels les manipulations n'étaient pas légalement obligatoires. Les élèves de la candidature en Sciences physiques et mathématiques suivaient les exercices pendant toute l'année.

Les doubleurs, n'ayant pas atteint la cote 13 devaient, aux

termes du règlement, suivre une seconde fois les travaux de physique. Toutefois cette cote fut abaissée à 12, et parfois même à 11 en vue d'éviter l'encombrement des laboratoires.

Locaux. — Les locaux dont nous disposions se composaient de quatre salles se faisant suite (fig. 1) : les deux premières, A et B, constituent les laboratoires proprement dits; elles ont 9 mètres de large et mesurent ensemble 12,50 mètres de long. Vient ensuite, en C, le cabinet du professeur, et, en D, une petite salle, pouvant se transformer en chambre obscure et où se trouve le grand banc d'optique de Jamin, réservé aux élèves du doctorat en Sciences physiques et mathématiques. Tous ces locaux prennent jour à l'Est et à l'Ouest dans les cours intérieures. La légende qui accompagne la figure permettra au lecteur de se rendre compte du détail des installations.

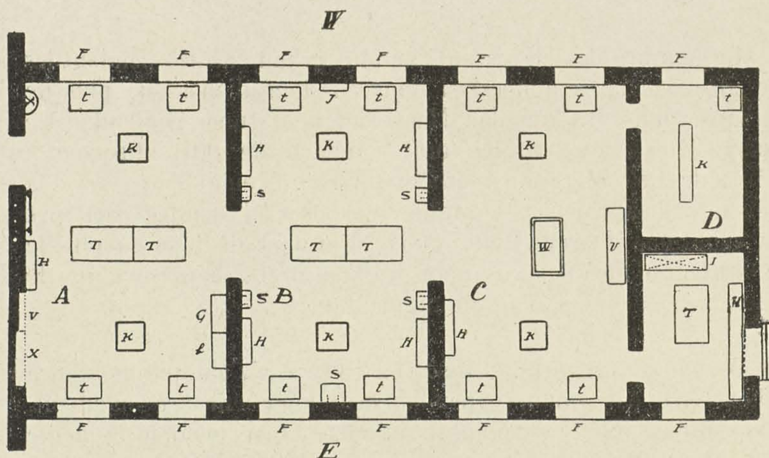


Fig. 1.

Fig. 1. — A et B, laboratoires. — C, cabinet du Professeur. — D, chambre obscure. — F, fenêtres. — T et *t*, tables avec prises de gaz. — S, supports de balance. — V, cage d'évaporation. — *b*, bain de sable. — G, soufflerie avec chalumeau pour le travail du verre. — H, armoires. — H′ collection des appareils de J. Plateau. — K, supports isolés en pierre bleue avec tablettes en marbre. — I, Batterie d'accumulateurs (10 éléments Blot, 20 kg.) — E, couloir partiellement cloisonné où la batterie est installée. — J, tableau de la distribution électrique. — U, bibliothèque. — T, tableau noir. — W, bureau ministre. — X, prise d'eau avec évier.

L'éclairage se fait en partie au gaz (bec Auer) et en partie à l'électricité (lampes à incandescence fixes et portatives).

Différentes prises de courant sont disposées dans les locaux.

Une cave, installée en chambre noire pour la photographie, est annexée au laboratoire; trois élèves peuvent y travailler à l'aise en même temps.

Personnel. — En dehors du Directeur et du répétiteur, il n'y eut jamais de personnel scientifique attaché au laboratoire, ni assistant ni préparateur. La besogne manuelle fut faite, dès le début, par un garçon de laboratoire; celui-ci, qui fut plus tard nommé conservateur, se mit peu à peu au courant de sa besogne; au bout de quelques années de pratique et la répétition aidant, il arriva à s'assimiler, d'une façon très convenable, le travail des élèves; souvent même il fut pour eux, sinon un aide scientifique, au moins un conseiller technique très précieux.

Subside. — Jusqu'en 1894, le crédit annuel affecté au service *du laboratoire et des cours* de M. Van der Mensbrugghe ne s'élevait qu'à 600 francs. A partir de cette date, il fut porté à 700 francs, taux auquel il resta jusqu'en 1900, pour être élevé alors à 1500 francs.

Exercices réalisés. — Le nombre des exercices différents exécutés par les élèves, alla en croissant d'année en année, de 1890 à 1905; en voici la liste : ceux que nous avons marqués d'un astérisque étaient réservés généralement aux futurs docteurs.

1. Usage des verniers rectilignes et circulaires. — 2. Emploi du palmer, du tastmicromètre, du compas à coulisse, etc. — 3. Pratique du sphéromètre. — 4. De la machine à diviser. — 5. Du cathétomètre. — 6. De la balance de précision. — * 7. Détermination de la valeur de g (par le pendule). — 8. Réglage du niveau à bulle et détermination de la valeur angulaire d'une division. — 9. Détermination de la densité d'un solide : méthode de la balance hydrostatique. — 10. Méthode du flacon. — 11. Détermination de la densité d'un liquide : méthode de la balance hydrostatique. — 12. Méthode du flacon. — 13. Densité d'un corps soluble dans l'eau. — 14. Densité d'un corps plus léger que l'eau. — 15. Problème de la couronne d'Archimède. — 16. Détermination du volume d'une cavité à l'intérieur d'un corps solide. — 17. Usage de la balance de Mohr.

— 18. Pratique des aréomètres. — 19. Travail du verre. — 20. Usage du baromètre; ses corrections. — 21. Vérification des thermomètres; valeur des lectures faites à l'aide d'un appareil inexact. — 22. Détermination des points de fusion (quatre procédés). — 23. Recherche du coefficient de dilatation linéaire d'un solide. — 24. Recherche du coefficient de dilatation vraie d'un liquide. — *25. Hygromètre chimique. — 26. Hygromètre d'Alluard. — * 27. Psychromètre; détermination de la constante. — 28. Densité d'un gaz (procédé de Bunsen). — * 29. Montage des piles. — 30. Mesure d'une résistance (Méthode du pont de Wheatstone). — * 31. Mesure de l'intensité d'un courant (voltamètre à *Ag.*). — 32. Usage des photomètres (Foucault-Bunsen). — * 33. Étude d'un objectif photographique. — * 34. Photographie : développement, fixage, impression, collage, etc. — 35. Usage du microscope et de la chambre claire de Nachet. — 36. Le saccharimètre. — 37. Le spectroscope.

Organisation. — La durée de chaque séance était de deux heures; les exigences du régime intérieur de l'École préparatoire ne permettaient pas de dépasser cette durée; d'ailleurs, nous estimons qu'elle suffit pour des débutants (1). Tout exercice imposé pouvait être réalisé par un élève adroit en une heure et demie.

En principe, chaque élève travaillait seul; on ne dérogeait à cette règle que pour l'emploi de certains appareils, tels que la machine à diviser, le cathétomètre, etc., où le secours d'un second opérateur peut être avantageux.

Le conservateur recevait la liste des exercices à exécuter, et il avait pour mission de préparer chaque appareil à sa place, en y adjoignant tous les accessoires nécessaires à la manipulation. Il veillait, avec le plus grand soin, à la rigoureuse propreté de tout ce qui était confié aux élèves. Ce détail n'est point superflu. L'expérience nous a montré que l'élève ne respecte les appareils, et ne prend l'habitude du travail soigné que si on lui met entre

(1) La durée de deux heures ne nous paraît pas devoir être dépassée, pour des exercices s'adressant à des débutants; elle peut l'être pour des travaux d'élèves du doctorat. De fait, dans de nombreux laboratoires français, allemands et hollandais que nous avons eu l'occasion de visiter, on a adopté une durée effective de deux heures. Parfois l'exercice figure au programme pour trois, voire même pour quatre heures; mais dans les laboratoires sérieux, on ne craint pas d'avouer que « c'est bien long » et qu' « il n'y a guère que les deux premières heures qui soient vraiment utiles ».

les mains des instruments dont le bon état lui impose une sorte de respect.

Pour faciliter la répartition du travail entre les élèves, j'avais imaginé ce tableau à double entrée :

SECTION D..

NOMS	Verniers, Palmer, etc.	Sphéromètre	Machine à diviser	Niveau à bulle	Cathétomètre	Balance de précision	Densité d'un solide				
							B.H.	FL.			
1.	3_{11}		10_{11}								
2.		10_{11}	3_{11}								
3.	3_{11}	10_{11}									
4.											

Pour l'exercice du 3 novembre, par exemple, chaque élève devait avoir en regard de son nom, dans une des colonnes verticales la notation 3_{11}; le nombre de fois que cette notation se répétait dans une des colonnes verticales ne pouvait dépasser le nombre d'appareils dont nous disposions pour l'exercice désigné.

Pour plus de facilité, la liste d'appel de chaque section était dressée sur un carton portant en regard deux bandelettes amovibles, fixées à la partie postérieure par une goutte de cire. La première portait la liste des opérations du jour et la seconde indiquait le travail à exécuter par chaque élève à la séance suivante. L'ordre de la liste d'appel coïncidant avec celui de la répartition du travail, le contrôle était des plus commodes. En outre, l'élève, prévenu à chaque séance de l'exercice qu'il aurait à faire dans la séance suivante, pouvait s'initier d'avance à ce travail (1).

(1) En 1893, nous avons publié un petit Manuel qui facilitait cette préparation. Cet ouvrage eut un complément en 1899 et une seconde édition en 1903. *Exercices pratiques de Physique*, un vol. in-8°, Gand, A. Hoste. Nous indiquerons, à la fin de cet article, d'autres ouvrages relatifs aux exercices et aux manipulations.

Nous compléterons ces renseignements en transcrivant le règlement du laboratoire.

Art. 1er. — Les exercices pratiques de physique commencent à 3 heures précises. MM. les Élèves se réunissent dans le vestibule et entrent ensemble à l'heure prescrite. L'accès du laboratoire est interdit après 3 heures 10 minutes.

Art. 2. — A l'appel de son nom, l'élève se rend à la place qui lui est indiquée, pour y effectuer le travail qui lui a été assigné à la séance précédente.

Art. 3. — L'élève constate au début de la séance le bon état des appareils qui lui sont confiés; il signale sur-le-champ et avant de commencer le travail, ce qu'il croirait y trouver de défectueux. Toute avarie non constatée est réparée aux frais de la *caisse des dépôts.*

Art. 4. — Tous les appareils sont maniés avec précaution; si l'élève ne connaît pas le fonctionnement d'une pièce, il se renseigne; aucune pièce ne peut être forcée.

Si dans le cours de son travail, l'élève dérange un appareil, il le signale et ne cherche pas à remettre lui-même l'appareil en état.

Art. 5. — Au début de la période d'exercices, chaque élève verse à la *caisse des dépôts* et contre reçu, une somme de 3 francs, qui reste affectée au payement des objets perdus, détériorés ou cassés pendant la période (les élèves de la Faculté versent une somme de 5 francs).

Il est tenu note des dégâts occasionnés par les élèves : l'ensemble des frais est supporté par la masse. A la fin de l'année académique, le reliquat de la somme totale versée est réparti également entre les élèves.

Art. 6. — Pendant les séances d'exercices, il est interdit aux élèves de fumer; de quitter leur place sous aucun prétexte et de s'occuper en aucune façon de ce que font leurs voisins; de toucher aux appareils qui pourraient être disposés dans le laboratoire et qui ne concernent pas la manipulation dont ils sont chargés; de toucher aux appareils d'éclairage ou au tableau de la distribution électrique.

Art. 7. — Son travail terminé, l'élève remet en ordre et dans l'état où il les a trouvés, tous les objets dont il s'est servi.

Il remet à la fin de la séance son bulletin de travail dûment rempli et signé. Tout exercice pour lequel il n'est pas remis de bulletin est coté zéro.

L'élève ne quitte sa place qu'au signal du départ.

Dans les limites du règlement, on laissait aux élèves une grande liberté ; jamais aucun d'eux n'en a abusé. L'assiduité aux manipulations était absolument remarquable. Si le concours empressé des élèves aux leçons et aux exercices d'un professeur témoigne de l'estime en laquelle ils les tiennent, on nous permettra de conclure qu'ils trouvaient, à suivre ces travaux, profit et plaisir. Nombreuses sont les listes de présence sur lesquelles nous relevons 390 cotes et 3 absences, soit moins de 1 p. c. Les listes les moins bien partagées n'atteignent pas 7 p. c. d'absents et encore y a-t-il, dans le nombre, des absences dûment justifiées. Il nous arriva même, à notre grand regret, de ne pouvoir, faute de place, accepter, pendant le second semestre, des élèves qui demandaient à continuer les exercices jusqu'à la fin de l'année académique.

BULLETIN. — En vue de faciliter le contrôle des travaux, chaque élève devait remplir un bulletin imprimé du type ci-contre, en s'aidant de modèles affichés dans le laboratoire.

Année académique 19.....-19..... SECTION (1)........................

EXERCICES PRATIQUES DE PHYSIQUE

SÉANCE DU .... *M* ....

OBJET DE L'EXERCICE	RÉSULTATS OBTENUS	*OBSERVATIONS*
		SIGNATURE :

(1) L'élève indiquera la section à laquelle il appartient : Grade légal, Arts, Génie ou Faculté.

II

Les instruments et les manipulations

Il nous reste à passer en revue les divers exercices réalisés au laboratoire en indiquant, pour chacun d'eux, quelques remarques sur le mode opératoire que la pratique nous avait fait adopter.

Usage des verniers. — Pour familiariser les débutants avec les divers types de verniers sans devoir leur mettre en mains des appareils à la fois coûteux et encombrants, nous avons imaginé le petit appareil en laiton représenté dans la figure 2.

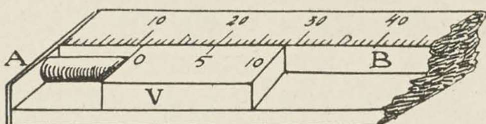


Fig. 2.

Les verniers au 1/10, au 1/20, au 1/50, etc., sont constitués par des pièces mobiles V qui glissent le long de la règle jusqu'au taquet d'arrêt A : dans cette position les zéros coïncident. Les parties graduées sont argentées, les pièces à mesurer se logent entre le taquet et le vernier. Ces pièces préparées d'avance sont numérotées et mises dans une boîte en carton qui accompagne

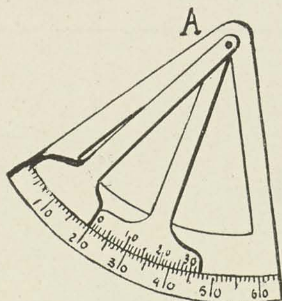


Fig. 3.

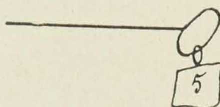


Fig. 4.

chaque instrument. Le numéro renvoie à un catalogue où sont inscrits les nombres qui les mesurent.

Pour les verniers circulaires, nous faisions usage d'un arc de cercle de 60° environ (fig. 3), sur lequel glissent des verniers

mobiles autour de l'axe A, et interchangeables. Des pièces en zinc numérotées, de différentes grandeurs angulaires, préalablement déterminées, se placent sur l'axe A, et s'appuient d'autre part sur l'arc gradué; on amène le vernier au contact.

Palmer, etc. — Rien de particulier à signaler ici; nous faisions mesurer des épaisseurs de fils de cuivre, maillechort, etc. Tous ces échantillons étalonnés portaient une petite étiquette (fig. 4), et étaient conservés dans des boîtes portant le numéro de l'appareil. Nous en usions de même dans tous les cas analogues.

Sphéromètre. — Nous faisions mesurer des épaisseurs de plaques métalliques, de plaques de verre, etc. Pour la détermination des rayons de courbure, nous utilisions de grands verres de montre, dont on peut à volonté faire mesurer la convexité ou la concavité. Nous y employions aussi de petites sphères en ivoire.

Machine à diviser. — L'exercice consistait à mesurer deux longueurs étalonnées d'avance, et à les diviser ensuite en un certain nombre de parties, les unes plus grandes et les autres plus petites qu'un millimètre. Les mises au point de départ et la surveillance du travail se faisaient à la loupe.

Cathétomètre. — On réalisait avec cet appareil divers exercices. Tout d'abord la mesure de la distance de points figurés chacun par le croisement de deux traits tracés au tire-ligne sur une même verticale, au milieu d'une bande de bristol fin. Ces bristols étaient attachés à un solide montant en bois que l'on fixait, à l'aide d'une vis, à la tablette en marbre du pied isolé supportant le cathétomètre lui-même (fig. 5); de cette façon, le tout est solidaire et l'on peut se déplacer dans le laboratoire, autour de l'appareil, sans déranger les opérateurs.

On déterminait aussi une densité de liquide par le procédé de la superposition des liquides dans des vases communicants. A cet effet, dans un long tube en U de section suffisante, on versait du mercure très propre, dont on supposait la densité connue, et dans l'une des branches on ajoutait une grande colonne du liquide dont on voulait déterminer la densité : essence de térébenthine, mélange d'eau et d'alcool, etc. Une petite lampe à incandescence permettait d'éclairer convenablement les surfaces terminales des liquides.

On réalisait encore au cathétomètre la mesure d'un pas de vis. Le plus souvent on se servait d'un sphéromètre. On ajustait, sur le plateau du sphéromètre, une fine pointe d'aiguille fixée, à

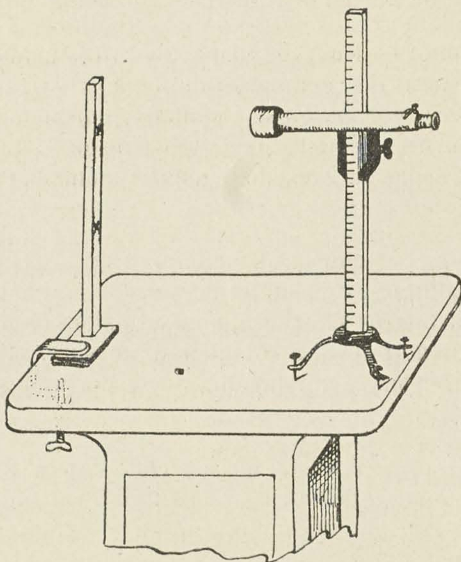


Fig. 5.

la base, par une goutte de cire. On pouvait ainsi déterminer très nettement de combien s'élevait le plateau pour un nombre donné de tours de vis.

Balance de précision. — L'appareil était préalablement déréglé, plus ou moins, suivant le type de balance employée; l'élève devait régler l'appareil avant de commencer ses pesées.

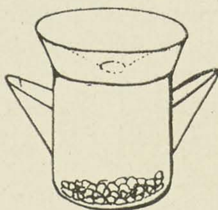


Fig. 6.

Toutes les mesures se faisaient par la méthode des doubles pesées. Comme tare on employait de la fine grenaille de plomb contenue dans de petits godets en fer blanc (fig. 6), garnis de

deux tubulures latérales; le godet étant incliné, on parvenait par de légers chocs du doigt sur l'appareil à faire tomber, vers la fin de la pesée, les petits plombs un à un, dans la capsule en corne qui servait à recevoir la tare. On complétait celle-ci à l'aide de petits morceaux de papier d'étain que l'on coupait à la grandeur voulue. L'opération terminée, on retournait la capsule en corne au-dessus de l'entonnoir du godet.

Il était interdit de remettre les poids marqués directement dans la boîte. Toujours, à l'aide de la pince spéciale, on rangeait les poids, par ordre de grandeur, sur le devant du châssis de la balance; on notait leurs valeurs, une à une, on y ajoutait, le cas échéant, celle du cavalier, puis, en remettant les poids en place, dans la boîte, on vérifiait une seconde fois leurs valeurs.

Niveau à bulle d'air. — Il était recommandé d'opérer sur le bord du plateau de l'appareil de réglage et, par surcroît de précautions, on repérait la position du niveau par un trait au crayon encadrant le patin; de cette façon, après le retournement, le niveau pouvait être remis à la même place.

La valeur du pas de la vis de l'appareil, et la longueur du plateau, d'axe en axe, qu'il faut connaître pour déterminer la grandeur angulaire d'une division du niveau, étaient déterminées au préalable par des mesures au cathétomètre.

Détermination de la densité d'un solide par le procédé de la balance hydrostatique. — N'ayant pas un assez grand nombre de balances hydrostatiques à notre disposition, nous employions les balances Beckers ordinaires, sensibles au milligramme, en recourant au procédé bien connu du petit banc. Le corps soumis à l'expérience était fixé par un mince fil de cuivre au crochet de l'un des plateaux. On opérait par double pesée tant pour la détermination du poids du corps que pour celle de la poussée, et on faisait les corrections de température.

Densité d'un solide, méthode du flacon. — Le flacon, rempli d'eau jusqu'au repère, et le corps, débité en fragments déposés dans un verre de montre, étaient tarés sur l'un des plateaux de la balance; on remplaçait ensuite le corps par des poids cotés. On enlevait ces poids, on introduisait le corps dans le flacon et l'on déterminait le volume d'eau déplacé.

Pour le remplissage du flacon, on versait de l'eau jusqu'au haut du col, puis on adaptait le bouchon à longue tubulure et

l'on remplissait la capsule supérieure; tenant ensuite le flacon de la main gauche, on soulevait légèrement de la main droite le tube-bouchon en lui donnant un léger mouvement de va-et-vient; deux ou trois mouvements de ce genre suffisaient : un petit jet d'eau s'échappant de la capsule annonçait que le flacon était entièrement rempli. On l'essuyait et, à l'aide d'un petit triangle de papier à filtrer, tortillé en pointe, on enlevait l'excès du liquide jusqu'au trait de repère.

Pour introduire le corps solide, il est prudent d'incliner le flacon de façon à faire glisser les fragments le long de la paroi : on évite ainsi les chocs qui exposent, quand le corps est un peu lourd, à casser le flacon, dont le verre est généralement très mince.

On arrive à se débarrasser des bulles d'air adhérentes aux fragments du corps, en bouchant le flacon à l'aide du pouce, et en le retournant : les morceaux viennent alors butter contre la partie épaisse du col du flacon, et l'on peut, sans courir le risque de le casser, secouer jusqu'à disparition complète des bulles gazeuses.

Densité d'un liquide (Balance hydrostatique). — On tarait le flotteur et on opérait ensuite, par la méthode des doubles pesées, dans le liquide et dans l'eau. En terminant les opérations par l'eau, on évite de devoir sécher le flotteur qui doit, en tous cas, être rincé en sortant du liquide soumis à l'expérience.

En guise de flotteurs, nous avions construit de petits tubes de 3 à 4 centimètres de longueur, remplis partiellement de mercure et terminés à la partie supérieure par un crochet (fig. 7).



FIG. 7.

Densité d'un liquide (Procédé du flacon). — Au début des opérations, on tarait le flacon vide, y compris son bouchon et son support, et l'on ne touchait plus à cette tare. La détermination de la densité se ramène ainsi à deux doubles pesées. En terminant les opérations par l'eau on évite de devoir sécher le flacon, après l'avoir rincé à la suite de la première opération.

Pour remplir le flacon, on verse du liquide dans sa cupule, puis, tenant le flacon par le col, on lui imprime, de toute la longueur du bras, un mouvement de rotation; le liquide est chassé au fond du flacon : au bout de quatre ou cinq opérations, le flacon est rempli; il reste à l'essuyer avec soin, à ramener le liquide au trait de repère, etc.

Pour vider l'appareil, on y introduit un tube de verre effilé, on retourne le flacon, l'ouverture au-dessus du récipient dans lequel on veut recueillir le liquide, et on souffle fortement dans le tube effilé.

Le flacon rempli, il faut le manier le moins possible, afin d'éviter les écarts entre sa température et celle du milieu ambiant.

Problème de la couronne d'Archimède. — Cet exercice se faisait par deux élèves, auxquels on remettait la petite couronne (don du Roi de Hollande) que possède la collection de physique, ainsi que les deux petits lingots d'or et d'argent qui accompagnent ce bijou et qui sont les échantillons des métaux qui sont entrés dans sa fabrication.

Les élèves employaient le procédé de la balance hydrostatique adapté à la balance de précision; mais on prenait soin de faire le vide, au-dessus de la couronne plongée dans l'eau, afin de se débarrasser des bulles d'air qui seraient infailliblement restées adhérentes à ses fines dentelures.

Détermination du volume d'une cavité à l'intérieur d'un corps solide. — Pour réaliser cet exercice, on se servait de cylindres en laiton dans lesquels étaient creusées des cavités fermées par

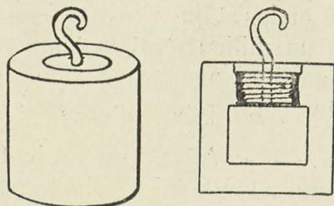


Fig. 8.

un bouchon à vis (fig. 8). L'élève pouvait ainsi vérifier, après coup, la valeur du résultat obtenu : il lui suffisait de remplir cette cavité d'eau distillée et de faire une nouvelle pesée.

Balance de Mohr. — Nous avions adopté le modèle de la balance de Mohr-Westphal, mais en remplaçant le flotteur à thermomètre par un flotteur plein en verre ; l'appareil devenait ainsi plus robuste, et pouvait être mis entre des mains inexpérimentées. Un petit thermomètre ordinaire au 1/2 degré, remis à l'élève, lui permettait d'indiquer la température à laquelle il avait opéré.

Les liquides en expérience étaient mis dans des bouteilles de 250 grammes environ ; bouteilles et bouchons portaient un numéro d'ordre. Chaque élève disposait d'un essuie-mains et d'un bâtonnet d'une trentaine de centimètres de longueur ; il pouvait ainsi sécher l'éprouvette après l'avoir nettoyée et rincée.

Aréomètres. — Divers types étaient mis à la disposition de l'opérateur, ce qui permettait de comparer les résultats obtenus.

Travail du verre. — Il se faisait au moyen du bec Bunsen, du bec papillon et, parfois, du chalumeau. Les élèves s'exerçaient à couper le verre, à courber un tube à angle droit, en U, en S, etc. ; les plus adroits l'étiraient, le perçaient, le soudaient, etc.

Vérification des thermomètres. — Quand on donne à l'élève un bon thermomètre, dont les écarts aux points fixes sont, par conséquent, relativement faibles, il n'accorde le plus souvent à cet exercice qu'une attention superficielle. Nous avions donc demandé à un constructeur de nous fabriquer quelques instruments très inexacts, dont les écarts atteignaient 2 et 3 degrés ; nous sommes arrivés à obtenir ainsi des élèves un travail beaucoup plus soigné.

On terminait toujours cette manipulation par les deux exercices numériques que voici : 1° Étant donné le thermomètre que vous avez entre les mains et que vous savez inexact, que marquerait-il plongé dans un milieu dont la température serait de t° ; et 2° si ce thermomètre, plongé dans un liquide marquait t°, quelle serait la température exacte du milieu ?

Points de fusion. — Les élèves employaient divers procédés : celui du tube en verre effilé, celui de Himly, etc. ; ils y ajoutaient parfois la détermination des points de fusion à l'aide du petit appareil que j'ai décrit dans les ARCHIVES DES SCIENCES PHYSIQUES ET NATURELLES, Genève, 1898.

Ils opéraient sur des mélanges de cire, de stéarine, de paraffine, etc., dont les points de fusion étaient déterminés par la moyenne d'un grand nombre d'expériences.

Coefficient de dilatation linéaire d'un solide. — On se servait de l'appareil que j'ai imaginé et dont la description a été donnée dans les BULLETINS DE L'ACADÉMIE DE BELGIQUE (juillet 1898). On opérait sur des barres de cuivre rouge, de laiton, d'acier, etc., dont les coefficients de dilatation étaient connus et résultaient de nombreuses déterminations.

Pour simplifier la manipulation et surtout pour en abréger la durée, on montait l'appareil avant l'arrivée des élèves, et on donnait à l'opérateur la longueur, à zéro degré, de la barre sur laquelle il devait travailler.

Coefficient de dilatation d'un liquide. — Il convient de s'en tenir à des liquides dont le coefficient de dilatation est assez élevé; tels sont l'alcool, l'éther, le chloroforme, etc. On employait le procédé du picnomètre. Pour ne pas traîner en longueur les opérations, qu'il eût été du reste difficile d'exécuter toutes et en toute rigueur dans un laboratoire occupé par un aussi grand nombre d'élèves, on donnait à l'opérateur le poids du flacon et le coefficient de dilatation du verre dont il était fait.

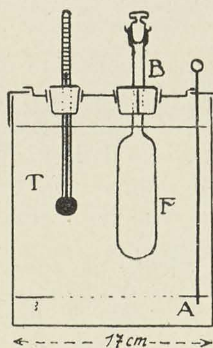


FIG. 9.

De plus, vingt minutes environ avant la séance, on plaçait les flacons dans la glace fondante, ce qui permettait de commencer de suite l'exercice.

On fixait la température à laquelle devait s'arrêter chaque opérateur suivant le liquide auquel il avait affaire. Pour atteindre cette température, on se servait d'une petite étuve à eau, du modèle ci-contre (fig. 9). C'est un réservoir cylindrique d'une capacité de trois à quatre litres, rempli à peu près entièrement

d'eau. Le couvercle est formé de deux parties : l'une fixe, l'autre mobile et plus petite qui se pose simplement sur le rebord circulaire de la partie fixe. Deux ouvertures donnent passage l'une au thermomètre T, l'autre au flacon. Le bouchon B est coupé en deux suivant sa longueur ; un petit canal creusé suivant son axe reçoit le col du flacon. Les pesées, au cours de cet exercice, doivent être faites avec une grande exactitude.

Hygromètre d'Alluard. — L'instrument était fixé sur un support de Gauss. Un tube en caoutchouc, long de 3 à 4 mètres, était raccordé au tuyau d'insufflation ou à celui d'aspiration, et aboutissait à un second support sur lequel étaient disposés côte à côte une lunette et le soufflet ou l'aspirateur.

Le champ de la lunette était assez grand pour permettre d'observer à la fois et le thermomètre au 1/5 de degré, plongeant dans l'éther, et la surface polie de l'appareil. On pouvait donc ne mettre qu'un seul élève à l'appareil.

Pour faciliter la lecture du thermomètre, il est bon de le munir d'un petit écran blanc placé derrière la graduation ; en réglant son orientation, on parvient à éclairer convenablement la colonne de mercure.

Psychromètre. — L'exercice consistait dans la recherche de la constante de l'instrument placé à un endroit déterminé. On remplace avantageusement la mousseline qui entoure le thermomètre humide, par un morceau de toile qui assure davantage le contact de l'eau avec le thermomètre. L'expérience nous a montré qu'il arrive souvent, avec la mousseline, que tout le réservoir thermométrique n'est pas humide : les mailles du tissu étant trop écartées les unes des autres, les effets de capillarité ne sont pas assez actifs pour compenser l'évaporation ; le tissu paraît mouillé, en réalité il ne l'est pas.

Densité des gaz. — On employait l'appareil de Bunsen, basé sur le principe de l'écoulement des fluides à travers une ouverture capillaire. On opérait, en général, avec l'air et le gaz d'éclairage. Pour la détermination des durées d'écoulement, il convient d'exiger au minimum trois mesures à fort peu près concordantes.

En vue d'opérer dans des conditions identiques de pression, chaque tube en verre de l'appareil de Bunsen était garni d'une mince bandelette circulaire en papier qui, à chaque opération, assurait un même affleurement dans le mercure.

Mesures de résistances. — On employait la méthode du pont de Wheatstone. Comme galvanomètre nous disposions d'un Nobili, d'un maniement assez délicat et qui exigeait de la part de l'opérateur une certaine légèreté de main.

Pour résistance à mesurer, nous avions construit une série de petites bobines étalonnées.

Intensité d'un courant. — Parfois on employait le voltamètre ordinaire à eau, mais le plus souvent on se servait du voltamètre à argent. Pour obvier autant que possible aux effets de la variation de résistance du voltamètre, on introduisait dans le circuit une résistance additionnelle, de manière à amener la résistance totale à valoir environ 10 ohms.

Photométrie. — En général, on employait le photomètre Foucault et celui de Bunsen, et l'on comparait les résultats obtenus. On prenait comme étalon une bougie, et l'on y comparait des lampes à pétrole, à gaz, à incandescence d'intensités diverses, etc. Cet exercice se faisait par deux élèves à la fois, contrôlant mutuellement les résultats obtenus.

Photographie. — Cet exercice était réservé aux élèves de la Faculté et principalement à ceux qui ne s'étaient pas jusque-là occupés de photographie. On y consacrait deux ou trois séances *en dehors des heures réservées aux exercices*. On étudiait tout d'abord l'objectif : distance focale, profondeur, défauts, etc.; on initiait ensuite l'élève au montage de l'appareil, à la mise au point, à l'appréciation des temps de pose, etc.; puis on prenait des photographies, que l'on développait, virait, renforçait, etc.; enfin, la dernière séance était réservée à l'impression des positives, au fixage, au collage, etc. Bref, on passait par toutes les opérations nécessaires pour arriver à une photographie achevée.

Microscope. — On utilisait le type des microscopes de Nachet, à divers grossissements, et l'on se servait de la chambre claire du même constructeur, pour la reproduction de certaines préparations. L'élève terminait son travail par la mesure du grossissement employé. Cette opération se faisait à l'aide d'un micromètre gravé sur verre, et son résultat était inscrit sur le dessin fourni par l'élève.

Saccharimètre. — Nous n'avions à notre disposition qu'un saccharimètre de Soleil, que l'on confiait à deux élèves à la fois.

Ils opéraient en se contrôlant mutuellement, avec des solutions du sucre du commerce, sans procéder à l'interversion. Ce complément des opérations leur était expliqué verbalement.

Spectroscope. — On se servait d'un spectroscope de Bunsen à prisme unique et micromètre, que l'élève devait d'abord régler. On déterminait un certain nombre de sels dissous dans l'eau, par l'examen du spectre d'émission, sans aborder la mesure absolue des longueurs d'onde.

Le travail se faisait par deux élèves, chacun repérant à son tour la position relative des raies. Des tableaux, montrant les raies des corps à déterminer, en regard des divisions de l'échelle micrométrique, facilitaient les déterminations. Il est utile de garnir l'extrémité du fil de platine d'une petite mèche d'amiante que l'on porte au rouge blanc avant de l'imbiber du liquide à examiner. Ce procédé a l'inconvénient de donner constamment la raie jaune du sodium, mais il a l'avantage, précieux pour les débutants, de prolonger la durée du spectre.

On le voit, par tous les détails dans lesquels nous sommes entrés, l'organisation de notre laboratoire avait en vue des débutants et non des élèves du doctorat. Il y a loin des premiers exercices de physique que l'on peut imposer à des étudiants novices, aux recherches personnelles et, dans une certaine mesure, originales que l'on peut réclamer des futurs docteurs. Il y a loin surtout de la valeur des résultats que l'on peut attendre de deux ou trois élèves, travaillant à l'aise dans des laboratoires spéciaux, à celle des résultats que l'on est en droit de demander d'un grand nombre, travaillant ensemble dans des conditions souvent très primitives. Souvent des circonstances analogues peuvent imposer une limite à *ce que l'on voudrait faire,* mais elles ne doivent jamais empêcher de *faire ce que l'on peut.* C'est la voie que nous avons suivie et nous serions heureux si ces quelques pages, dictées par l'expérience, pouvaient être de quelque utilité à un jeune professeur aux prises avec les mêmes difficultés.

Note. — Il existe bon nombre d'ouvrages relatifs aux expériences, aux exercices et aux manipulations de physique. Nous en citerons quelques-uns parmi ceux que nous avons eu l'occasion d'utiliser.

H. Abraham, *Recueil d'expériences élémentaires de physique,* publié avec la collaboration de nombreux physiciens. Première partie : Travaux d'atelier. Géométrie et mécanique. Hydrostatique. Chaleur. Un vol. grand in-8° de

247 pages. — Seconde partie : Acoustique. Optique. Électricité et Magnétisme. Un vol. grand in-8° de 454 pages. Paris, Gauthier-Villars. — Les expériences décrites dans cet excellent Recueil sont des *manipulations* n'exigeant, le plus souvent, que des objets usuels.

A. M. Worthington, *A first Course of physical Laboratory Practice*. Un vol. petit in-8° de 308 pages. London, Rivingtons. Ouvrage ancien, mais qui contient d'excellentes choses.

B. Stewart and W.-W. Haldane Gee, *Lessons on elementary practical Physics*. T. I. General physical Process. Un vol. petit in-8° de 291 pages. — T. II. Electricity and Magnetism. Un vol. petit in-8° de 503 pages. London, Macmillan.

P. Vaillan et J. Thovert, *Manipulations de physique*. Manuel à l'usage des élèves de l'enseignement secondaire, des écoles d'agriculture, de commerce et d'industrie, et des candidats aux certificats d'études P. C. N. et aux certificats d'études supérieures. *Physique générale*. Un vol. petit in-8° de 106 pages et 13 pages de tables. — *Électricité industrielle*. Un vol petit in-8° de 99 pages et 23 pages de tables. Paris, Ch. Béranger.

R. De Muynck, *Exercices de Physique élémentaire* (Laboratoire de Physique de l'Université de Louvain). Un vol. grand in-8° de 62 pages. Louvain, A. Uystpruyst.

Malosse, *Manipulations de physique*. Un vol. grand in-8° de 172 pages. Paris, Savy.

Guillet, *Travaux pratiques et manipulations de physique*. Un vol. in-8° de 287 pages. Paris, O. Doin.

A. Witz, *L'École pratique de Physique*. Cours élémentaire de manipulations de physique à l'usage des candidats aux Écoles et au certificat des études physiques et naturelles. Un vol. grand in-8° de IX-218 pages. Paris, Gauthier-Villars.

A. Witz, *Cours supérieur de manipulations de physique*. Un vol. grand in-8° de 472 pages. Paris, Gauthier-Villars.

A. Damien et R. Paillot, *Traité de manipulations de physique*. Un vol. in-8° de 503 pages. Paris, Masson.

E. Wiedemann und H. Ebert, *Physikalisches Praktikum, mit besonderer Berücksichtigung der physikalisch-chemischen Methoden*. Un vol. grand in-8° de 574 pages. Braunschweig, F. Vieweg.

F. Kohlrausch, *Lehrbuch der praktischen Physik*. Un vol. in-8° de 656 pages. Leipzig, B. G. Teubner.

Ces derniers ouvrages s'adressent plus spécialement aux candidats à la licence, à l'agrégation et au doctorat.

VAN DE VYVER,
Professeur à l'Université de Gand.

II

SCIENCES MILITAIRES

—

Tactique de l'artillerie de campagne

Il y a deux ans, au moment où les expériences relatives à l'adoption d'un nouveau matériel d'artillerie à tir rapide se poursuivaient au polygone de Brasschaet, nous avons rappelé aux lecteurs de la Revue les principes d'organisation qui doivent présider au choix du meilleur canon de campagne.

Ces expériences sont terminées. Après un sérieux examen, conduit avec une compétence et une impartialité auxquelles les concurrents ont rendu un hommage unanime, la commission d'artillerie s'est prononcée en faveur du matériel de la firme Krüpp. Un premier crédit de 5 000 000 a été demandé et obtenu par le ministre de la guerre, et les bouches à feu sont en construction.

Nous nous proposons aujourd'hui d'exposer la tactique de l'artillerie de campagne.

Nous donnerons d'abord un court aperçu du cadre dans lequel l'action se développe ; nous examinerons ensuite la conduite de l'artillerie sur le terrain du combat, et nous étudierons en dernier lieu le rôle qu'elle joue dans la bataille.

I. — L'union des efforts, ou, pour employer une expression technique consacrée, le *soutien mutuel des armes*, forme la base de la conception moderne du combat. Les formidables effectifs des armées actuelles donnent aux champs de bataille des dimensions sans cesse croissantes ; un front de 50 kilomètres n'est pas invraisemblable. Prétendre y être également fort sur tous les points serait une illusion ; à vouloir le tenter, on courrait risque d'y être au contraire partout très faible. Au surplus, la diversité des propriétés tactiques d'un vaste terrain ne permet guère d'y mener la lutte en tous ses points. Le terrain, à lui seul, donne une première esquisse de l'allure du combat qui s'y livrera. Pour vaincre l'ennemi, il ne sera pas nécessaire d'anéantir successivement tous ses éléments de combat ; la destruction soudaine, au moment voulu, d'une partie de ses forces y suffira généralement. *Être le plus fort, au point et au moment voulus,* tel paraît être le secret du succès, lisons-nous dans le nouveau règlement français sur le service des troupes en campagne.

Dès lors, l'art du commandement consistera à déterminer la

clef de la position et à y obtenir l'avantage en temps opportun. A ne considérer que le terrain de la lutte, il y aura généralement, pour l'attaque, un point plus avantageux, dont l'occupation entraînera la retraite de l'ennemi : ce sera la *clef tactique* de la position. Mais il y a, en outre, la *clef stratégique*. La plupart du temps, en effet, la bataille n'est qu'un épisode des marches stratégiques, une interruption momentanée de ces marches, ayant pour but de contrarier les desseins de l'adversaire en lui imposant à point donné sa propre volonté. Il peut se faire que la clef tactique ne soit pas le point où il importe de frapper l'ennemi, mais que ce soit la clef stratégique. Citons-en un exemple classique. Lorsqu'en 1870, les premières escarmouches et les premiers combats eurent marqué l'allure définitive de la campagne, le général de Moltke fit manœuvrer ses troupes d'une façon persistante l'aile gauche en avant, afin de pousser les forces françaises vers la frontière nord et de leur couper les ressources de l'intérieur. Peu lui importait la clef tactique, il fallait s'efforcer avant tout d'assurer le succès à l'aile qui devait refouler l'ennemi vers la Belgique : la clef stratégique était la seule dont il fallut tenir compte.

Voyons comment naît une bataille. Elle est quelquefois simultanément voulue par les deux adversaires ; plus souvent elle est imposée par l'un d'eux et subie par l'autre ; parfois, enfin, elle est le résultat du hasard.

Si l'un des deux partis se sent moins fort, il reconnaît une position défensive, l'organise, y attend le choc de l'ennemi et cherche à l'user jusqu'à ce que soit rétabli l'équilibre des chances. Si tous deux se sentent également forts, ils pourront se porter l'un vers l'autre, et il n'y aura d'imprévu dans ce combat que le lieu et le moment de la rencontre. La situation ne tardera pas à se dessiner. Celui des deux antagonistes qui verra son offensive arrêtée, sera bien près de la défaite, car il n'aura qu'une liberté de mouvement très amoindrie sur un terrain qu'il n'a eu la faculté ni de choisir ni d'approprier au mieux de ses intérêts. Rappelons-nous la proclamation lancée par Kouropatkine le 2 octobre 1904 : l'ennemi avait, sept mois auparavant, surpris les Russes par une attaque traîtresse contre Port-Arthur ; leur retraite persistante avait eu pour cause leur infériorité numérique, mais les rôles allaient changer : le moment était venu de prendre l'offensive et de passer à l'attaque.

Le maréchal Oyama répondit à ce manifeste par l'ordre d'exécuter une contre-offensive générale. Les deux antagonistes

allaient se porter en avant et livrer la grande bataille du Cha-Ho. Elle dura du 8 octobre jusqu'au 18. D'après le général Kouropatkine, la clef stratégique était à l'aile droite des Nippons. Le généralissime voulait rejeter l'ennemi vers Liao-Yang et le couper de sa ligne de communication avec la mère patrie. Malheureusement pour lui, le terrain où il devait porter son principal effort était accidenté et particulièrement favorable à la défensive. Les Japonais, exactement renseignés sur les intentions et sur l'organisation de l'ennemi, fortifièrent leur aile menacée et portèrent le gros de leurs forces sur la droite du parti opposé : celle-ci cédant, l'offensive russe devait par le fait même être arrêtée. C'est ce qui arriva, en effet; les troupes de Kouropatkine, pendant sept jours de combat, furent repoussées pas à pas et, la nuit du 14 au 15, contraintes à se rassembler sur une vaste position défensive, bien fortifiée il est vrai, mais qui, dans son ensemble, manquait de valeur.

La bataille de hasard est souvent causée par une fausse manœuvre, ou par un renseignement inexact. Telle fut la bataille du 16 août 1870, à Rezonville. Elle résulta de l'interprétation inexacte de la situation des Français à Mars-la-Tour. Un commandant de cavalerie allemand, apercevant au loin les troupes françaises sur la rive gauche de la Moselle, crut superflu de se renseigner davantage. Il fit savoir au prince Frédéric-Charles qu'il avait découvert l'arrière-garde de l'armée ennemie. En réalité, c'est de l'avant-garde qu'il s'agissait. On sait ce qui arriva. Pendant que le gros des troupes de la deuxième armée allemande se lançait vers l'ouest à la poursuite d'un ennemi imaginaire, les corps chargés d'assurer la protection de leur flanc droit vinrent heurter les masses françaises. Ils n'évitèrent un écrasement complet qu'à la faveur de l'inertie de Bazaine.

Les véritables batailles durent aujourd'hui plusieurs journées. Le parti qui se résout momentanément à la défensive organise ses forces, approprie le terrain, fortifie les points les plus importants. Si le champ de tir ne se développe pas jusqu'à la portée efficace du canon, si le terrain, favorable à la marche en avant de l'adversaire, échappe à ses vues, il sera conduit à occuper, en avant de sa ligne principale, quelques points d'appui, qui lui permettront d'améliorer les conditions de la défense et obligeront l'ennemi à s'arrêter et à se déployer plus loin de son objectif.

Les ailes de la position seront l'objet de soins particuliers. Si elles ne s'appuient pas à un obstacle *inabordable*, elles seront,

en général, des points faibles, et l'assaillant profitera de sa supériorité numérique pour tenter un mouvement enveloppant. S'il réussit, il rejettera successivement les uns sur les autres les éléments de la défense et menacera la ligne de retraite.

Après les préliminaires, le combat comprendra le plus souvent trois phases : l'engagement général, l'action décisive et le dénouement.

Le commandant de l'attaque aura cherché à coordonner les renseignements fournis par sa cavalerie. Il est dans l'ordre des choses qu'ils soient assez peu précis, car la cavalerie est faible devant l'infanterie et peut difficilement pousser ses investigations jusqu'au cœur des lignes adverses. Ces renseignements auront donc besoin d'être contrôlés. Il faudra pour cela tâter l'ennemi sans s'engager à fond. Les troupes d'avant-garde conviennent pour cette mission. Elles refoulent les premiers éléments du réseau de surveillance organisé par le défenseur, l'obligent à dévoiler les emplacements de ses postes avancés et soutiennent l'artillerie qui doit préparer la marche en avant. Lorsque le général en chef est fixé, il communique aux commandants des grandes unités son but, son plan et toute sa pensée.

« Il oppose à l'ennemi, sur tous les points où il montre des troupes, le *minimum* des forces nécessaires pour le contenir, l'immobiliser et l'user en le tenant à tout instant sous la menace d'une crise décisive » (1). L'engagement général qui en résulte durera longtemps. Il sera caractérisé par une marche progressive et méthodique, l'ennemi ne cédant le terrain que pied à pied et les points conquis étant solidement occupés.

Pendant ce temps le commandant aura pu déterminer la clef de la position, si les circonstances antérieures ne la lui imposent pas. Toute son attention se portera, dès lors, à saisir le moment propice à l'attaque décisive, qui devra produire l'effet d'une surprise.

Les troupes chargées de cette mission, soustraites jusque-là aux émotions du combat, seront conduites, à l'abri des vues, aussi près de l'ennemi que possible, et lancées en avant avec le seul objectif d'aborder l'adversaire. Pendant ce temps, les autres parties de la ligne passeront énergiquement à l'attaque générale, afin d'empêcher l'ennemi de jeter, au point dangereux pour lui, des forces retirées des endroits non menacés. Si l'attaque déci-

(1) *France. Service de campagne*, art. 138.

sive réussit, ceux qui la mènent compléteront le succès en l'étendant.

Le dénouement, c'est la poursuite en cas de victoire, la retraite en cas d'échec. L'une et l'autre sont assurées par des troupes spéciales.

II. — La technique du tir est aride. Il est cependant indispensable que nous en disions quelques mots, afin de pouvoir ensuite montrer les conséquences de l'emploi des nouvelles bouches à feu.

Lorsque deux projectiles de même modèle sont tirés successivement, avec la même pièce, dans les mêmes conditions, ils ne tombent jamais exactement au même point du terrain. Des causes multiples influent sur la régularité de leur mouvement et tendent à produire des différences notables d'un coup à l'autre (1); ce sont, entre autres, le poids variable et l'état extérieur des projectiles; la constitution des charges de tir; les propriétés balistiques différentes des poudres; les erreurs inévitables dans le pointage des bouches à feu, etc. Le perfectionnement du matériel et l'habileté du personnel permettent d'atténuer certaines causes de déviation des projectiles; néanmoins l'ensemble des trajectoires obtenues en se plaçant dans des conditions aussi identiques que possible, forme toujours une gerbe, que l'on peut comparer à une corne d'abondance dont le sommet serait placé à la volée de la bouche à feu. L'axe de cette gerbe s'appelle *la trajectoire moyenne*. Tout l'art du tir consiste à diriger cette trajectoire moyenne de la meilleure façon possible pour produire, au but, l'effet voulu. En général, c'est par le milieu du pied du but que l'on cherche à la faire passer.

Pour y réussir, le commandant de la batterie doit tout d'abord estimer la distance à laquelle se trouve son objectif. Cette opération, pour être bien faite, demande une très grande habitude et de nombreux exercices. Rien n'est plus trompeur qu'une distance. La sagacité des inventeurs s'est exercée, depuis longtemps, à imaginer des *télémètres;* mais la plupart de ceux qui ont été construits sont trop peu pratiques pour être couramment employés par les artilleurs de campagne. La plupart exigent la mesure préalable de la base étroite d'un triangle dont le sommet correspondant est au but. Or, les opérations sur le terrain sont trop rudimentaires pour qu'on puisse éviter par ce moyen des erreurs importantes. Avec le télémètre du général d'artillerie

(1) *France. Instruction sur le tir de l'artillerie de siège et de place.*

belge Leboulangé, on apprécie le temps écoulé entre le moment où on *voit* la lueur d'un coup de canon à la bouche à feu, et celui où on *entend* le bruit qui l'accompagne. Cet appareil fut en faveur dans l'artillerie de toutes les armées européennes, jusqu'au jour où l'on eut constaté que le son chevauche sur le projectile et n'a pas, dans l'atmosphère troublée sur son passage, la vitesse moyenne de 333 mètres à la seconde. La firme Zeiss a lancé, dans ces dernières années, un télémètre basé sur la stéréoscopie. Tout se passe comme si nos yeux étaient écartés l'un de l'autre de $0^{m},51$ à $1^{m},44$ suivant l'appareil. L'effet stéréoscopique est tel que le relief est reporté à une distance soixante-quatre fois plus grande que celle de la vue naturelle, c'est-à-dire à 28 kilomètres au lieu de 440 mètres. Malheureusement ces télémètres sont encombrants et très chers. Quoi qu'il en soit, la mode — si ce mot peut s'adapter à une question militaire — semble être aux comparaisons. Le but se trouve-t-il aux abords d'une maison? on évalue la hauteur réelle de celle-ci par le nombre de ses étages et sa grandeur apparente achève de nous renseigner sur sa distance. Un arbre isolé dont on estimera la hauteur d'après son espèce, rendra le même service. L'observation fournit ainsi une foule de repères dont on connaît une dimension; en mesurant l'angle sous lequel elle nous apparaît, on estime d'emblée la distance du repère avec une approximation suffisante. L'habitude de la campagne suggère d'ailleurs cent moyens de contrôle : on sait, par exemple, qu'avec une vue moyenne, on compte les fenêtres d'une maison isolée à 3600 mètres ; qu'on distingue les gros troncs d'arbre à 2000 mètres; qu'on voit briller les armes à 1800 mètres, etc. Ainsi renseigné sur la distance, le commandant de batterie encadre d'abord le but par une série de coups portant au delà et en deçà. Il corrige alors le pointage en dirigeant le feu vers l'emplacement le plus probable de l'objectif et ordonne le tir continu. On se tromperait en s'imaginant que le but doive être immédiatement atteint. L'estimation de la distance a pu être inexacte; le but lui-même peut ne pas être au même niveau que la batterie; enfin et surtout, les circonstances atmosphériques peuvent intervenir pour modifier considérablement les portées des trajectoires. Avec les mêmes éléments de tir, les portées varient de plusieurs centaines de mètres selon la direction, l'intensité du vent et la sécheresse de l'air. Ce sont ces portées réelles qu'il faut estimer. « L'application des règles qui découlent des principes généraux du tir, dit notre règlement d'artillerie, est basée sur

l'appréciation exacte de la position, par rapport au but *des points d'explosion des projectiles* (1). »

Ces principes ne sont pas nouveaux, mais leur application a souvent reçu des interprétations diverses et des modifications importantes. Avec l'artillerie à tir rapide, les Français admettent qu'il faut à tout prix trouver immédiatement la distance relative du but et entamer un tir efficace, procédant par *rafales subites, courtes et violentes* (2), afin d'enlever à l'adversaire sa liberté d'action et de faciliter, par suite, aux autres armes, la conquête du terrain.

Dans une opération offensive, une troupe d'infanterie ne saurait se présenter debout dans une zone battue efficacement par l'artillerie à tir rapide. Elle se couche pour devenir insaisissable. Mais, comme elle doit progresser et se rapprocher de l'ennemi, elle se fractionne en petits groupes placés chacun sous les ordres d'un gradé. Ce chef indique l'étape nouvelle à parcourir de proche en proche, d'une position abritée à la suivante. Il s'élance le premier et ses hommes le suivent sans autre préoccupation que celle d'arriver sains et saufs au prochain couvert (3). En présence d'une telle tactique, l'artillerie est impuissante à produire tout son effet. Elle n'a d'autre ressource que de repérer à coups de canon des zones de terrain placées dans la direction de marche de l'infanterie; alors le déclanchement d'une rafale a son effet utile chaque fois qu'une troupe pénétrera dans l'une de ces zones (4).

Dans la défensive, l'infanterie fait un large emploi de la fortification improvisée. Elle est alors beaucoup plus insaisissable encore que lorsqu'elle est couchée. Dans ce cas, la rafale a pour

(1) *Belgique. Règlements de l'artillerie,* titre IX, chapitre I, § 106.

(2) On entend par rafale l'ensemble des coups d'une batterie tirés sur une même hausse, sans ordre déterminé, à raison d'un ou plusieurs coups par pièce. C est la rafale étroite. Si on fait usage de plusieurs hausses, tant successivement (tir progressif) que simultanément (tir simultané), on obtient la rafale profonde.

(3) C'est le procédé employé par les Japonais en Mandchourie. Cf. *Enseignements tactiques de la guerre russo-japonaise,* par le capitaine breveté Niessel. Paris, Henri Charles-Lavauzelle.

(4) Ce fut la tactique des Boers à Colenso. Quant aux Japonais, lorsqu'ils ne voyaient pas le but, ils fouillaient, par un feu lent, le terrain en arrière des crêtes, tirant de préférence sur les emplacements présumés des rassemblements de troupes. Le moindre déplacement pour échapper à leur tir provoquait immédiatement une rafale (Cf. REVUE D'ARTILLERIE, août 1906). D'après Niessel, ces tirs sur emplacements probables ont été abandonnés dans la suite à cause de leur faible rendement.

objet de l'obliger à se tapir et à suspendre le feu pendant que progressent les armes amies.

Au point de vue de la sécurité, les boucliers assimilent les servants des pièces à l'infanterie abritée. Le but de la rafale sera donc le même dans les deux cas. Toutefois, si, par suite de circonstances particulières, l'artillerie ennemie était à découvert, il serait rationnel d'employer le projectile percutant contre les bouches à feu, en même temps que le shrapnell contre les servants.

De cet ensemble de considérations découle ce principe qui pourrait sembler paradoxal : le tir de l'artillerie nouvelle n'a pas pour but principal d'atteindre l'ennemi. Celui-ci étant presque invulnérable par l'emploi judicieux qu'il fait du terrain, elle s'efforce de l'immobiliser et de l'empêcher de faire usage de ses armes à feu. Ainsi s'explique, en grande partie au moins, la tendance générale des armées à augmenter la proportion de leurs bouches à feu de campagne, bien que les statistiques des dernières guerres ne renseignent pas plus de 7 à 8 p. c. de pertes dues aux effets de l'artillerie (1).

L'effet foudroyant d'une rafale réussie rend la prise de position de combat des plus délicates. Une batterie qui s'offrirait au feu de l'adversaire pendant cette opération préliminaire serait fatalement détruite. Toute l'habileté du capitaine doit donc se manifester dans sa façon d'amener les pièces à leur emplacement de tir. Adieu les beaux alignements, les conversions mathématiques, les mises en batterie impeccables d'antan ! Après avoir laissé ses bouches à feu, chargées s'il le faut, en position d'attente, derrière une crête ou dans quelque endroit défilé des vues, le capitaine reconnaît l'emplacement à occuper. Il étudie soigneusement les voies d'accès, s'imprègne du rôle que lui a confié le commandant de groupe et prend les dispositions qui lui permettent d'ouvrir le feu le cas échéant, dès que son unité aura pris position. Il fait ensuite un signe convenu à sa batterie. Celle-ci s'avance, par des chemins étudiés, aussi près que possible de la position de combat. Bientôt elle ne pourra plus avancer sans se dévoiler. On s'arrête. Les conducteurs mettent pied à terre et se placent à la tête de leurs chevaux. On gagne ainsi du terrain pied à pied. C'est encore insuffisant. Les pièces sont alors séparées des avant-trains et poussées à bras d'homme. Si on en a le temps, on les revêt de branches, de feuillage et de

(1) C'est le chiffre fourni par les premiers résultats connus de la guerre russo-japonaise. L'arme blanche donne un pourcentage équivalent.

tout ce qui peut les dissimuler. Enfin le but est atteint : quelques brefs commandements, et la partie s'engage.

III. — Sur le champ de bataille, le canon est un infiniment petit. C'est pour tenir compte de ce fait que le règlement de manœuvre allemand édicte comme suit le premier de ses principes fondamentaux : « Il est important, dans la plupart des cas, d'avoir, dès le début de l'action, un nombre de bouches à feu supérieur à celui de l'adversaire et *d'agir le plus tôt possible en masse.* »

L'idée de l'emploi de l'artillerie « en masse » n'a pas toujours été en honneur. En 1866, par exemple, en Bohême, la multiplicité des calibres et l'emploi simultané de bouches à feu rayées et de canons lisses contrarièrent l'unité du tir et l'approvisionnement continu en munitions, tandis que la mauvaise répartition de l'artillerie dans les colonnes rendait impossible la concentration des batteries en temps opportun. Aussi cette arme échoua-t-elle complètement. En 1870, on profita de l'expérience de la campagne précédente, mais ce fut en 1876 seulement que von Hoffbauer provoqua, pour la première fois, un examen approfondi de l'emploi des masses (1). Nous devons nous y arrêter un instant.

L'artillerie était répartie entre les divisions. Toutefois le commandant de corps d'armée disposait d'une fraction de cette arme dont le but était, primitivement, de servir de réserve. La nécessité d'écraser l'artillerie de l'adversaire pour faciliter la marche en avant de l'infanterie amie, modifia naturellement cette destination. L'effet d'écrasement, avec les matériels à tir lent de puissance équivalente, ne pouvait s'obtenir, dans l'ensemble, que par la supériorité numérique. Aussi la réserve de canons devint-elle artillerie de corps. Elle fut destinée, en principe, à agir aussitôt que possible, au point où le commandant de troupes voulait obtenir le résultat décisif.

Le tir rapide vint jeter le trouble dans les idées reçues. Pouvait-on espérer qu'une modification aussi importante dans l'armement se produirait sans faire naître des discussions et sans soulever des opinions contradictoires? Évidemment non. Pourra-t-on, d'autre part, se mettre d'accord en se basant sur l'expérience de la dernière guerre? Il ne le paraît point, car si les Japonais et les Russes utilisaient un matériel à tir accéléré, ni les uns ni les

(1) Cf. *Évolution de la tactique de l'artillerie de campagne depuis 1870 jusqu'en 1898*, étude du lieutenant-général Rhone résumée par le BULLETIN DE LA PRESSE ET DE LA BIBLIOGRAPHIE MILITAIRES.

autres ne possédaient le bouclier, cet élément de protection dont on attend les plus grands résultats. Quoi qu'il en soit, jusqu'à présent, les idées ne semblent pas être fixées. Les Allemands, que nous avons cités plus haut, continuent à préconiser la supériorité immédiate du nombre de bouches à feu. Aux grandes manœuvres de 1905, leur artillerie ne connut pas les positions d'attente : elle engagea toujours le combat avec toutes ses forces (1). Les Français, qui furent les premiers à posséder un matériel nouveau, ne partagent pas entièrement ces idées. D'après eux, s'il importe d'avoir constamment à sa disposition le plus grand nombre de batteries prêtes à entrer en action, il convient de n'en faire tirer d'abord que le nombre jugé suffisant pour obtenir, dans le minimum de temps, le résultat cherché. Ce nombre dépendrait en général du front à battre. Les unités non utilisées s'installeraient, soit en position de surveillance, c'est-à-dire en batterie à l'abri des vues de l'ennemi, prêtes à ouvrir le feu, soit en position d'attente, c'est-à-dire avec avant-trains attelés, à proximité d'emplacements reconnus comme devant être vraisemblablement occupés.

Ceci nous amène à envisager le rôle particulier de l'artillerie sur le champ de bataille. Dans le combat, c'est l'infanterie qui est l'arme fondamentale. Sa marche en avant assure la possession du terrain, et finalement la victoire. Le principe du soutien mutuel des armes lui garantit la collaboration de l'artillerie. Celle-ci, dans les colonnes importantes, marche en partie à l'avant-garde, en partie derrière le premier bataillon du gros des troupes. La fraction d'avant-garde agira dans les préliminaires ; elle tirera sur l'ennemi pour le chasser de ses positions avancées et même pour l'obliger à riposter de sa ligne principale de défense, afin de lui faire dévoiler les emplacements qu'il ne pourra vraisemblablement pas modifier pendant la durée de la bataille. C'est le moment où le commandant en chef tâte l'ennemi et se décide à refuser ou à accepter la rencontre. Les batteries d'avant-garde auront donc le plus souvent des missions de courte durée, se succédant à intervalles rapprochés.

Si la lutte est acceptée, l'engagement général prélude par

(1) Un article de la NEUE MILITARISCHE POLITISCHE CORRESPONDENZ, traitant des manœuvres d'automne 1906, tend à faire croire à un revirement des idées en Allemagne. On y aurait adopté les idées françaises en ce qui concerne l'emploi des masses d'artillerie. Mais la direction du BULLETIN DE LA PRESSE que nous avons consultée à ce sujet nous a fait savoir, en septembre dernier, que l'ancien règlement de manœuvre de l'artillerie allemande est toujours en vigueur.

l'entrée en action de la masse d'artillerie. Va-t-il se produire un duel gigantesque qui ne cessera qu'au moment où l'un des deux adversaires sera, en majeure partie du moins, réduit au silence? La question est de nouveau controversée.

Notre règlement sur le service des troupes en campagne l'admet (1). Des auteurs compétents prétendent qu'il n'y aura plus de duel d'artillerie au sens attribué jusqu'ici à ce mot. « Si l'ennemi a réussi à régler son tir sur votre batterie, et que vous risquiez de perdre un trop grand nombre de servants, attendez. Après quelques salves rapides, l'ennemi, pour éviter une consommation inutile de projectiles, cessera le feu ou bien passera au tir lent. C'est le moment pour vous d'ouvrir le feu. Si votre tir est réglé, l'ennemi se taira à son tour et abritera ses servants derrière ses épaulements. Dans ces conditions, il est inutile de songer à détruire l'artillerie de l'adversaire, puisque le moindre fossé rend les servants invulnérables. La lutte d'artillerie doit avoir dorénavant pour but de tenir constamment l'artillerie adverse sous la menace du feu et de l'empêcher de tirer sur notre infanterie, sur notre artillerie en marche vers une position, sur notre cavalerie et sur toutes nos troupes en mouvement (2). »

Le major d'artillerie belge Leroux, sous-directeur de la fonderie des canons, aboutit, par un raisonnement différent, à la même conclusion (3). Pour faciliter la marche en avant de l'infanterie, dit-il en résumé, l'artillerie doit contrebattre l'artillerie et l'infanterie ennemies. Avec le matériel à tir lent, l'artillerie occupe les crêtes et l'infanterie est insaisissable. Cette dernière ne sera donc pas prise comme objectif. Le tir rapide, par contre, permet de battre, en un temps limité, une zone large et profonde : *l'infanterie redevient saisissable*, tandis que, grâce à ses perfectionnements, l'artillerie peut s'installer en arrière des crêtes, y rester invisible ou, en tous cas, peu vulnérable, grâce aux boucliers. La bataille ne débutera donc plus nécessairement par une lutte d'artillerie.

A tous ces raisonnements, on oppose un argument d'ordre psychologique. L'artillerie qui essuiera le feu de l'adversaire y répondra instinctivement. Rien n'est plus difficile — l'expé-

(1) Ce règlement date de 1894. Une brochure anonyme, *Combat de la division d'armée*, édition 1901, bien connue de tous nos officiers, l'admet également, p. 33.

(2) REVUE D'ARTILLERIE, avril 1906, p. 50.

(3) Conférence donnée aux officiers de la garnison de Liége, le 16 mars 1903.

rience le prouve — que de faire avancer le fantassin sans riposter au feu ennemi, même lorsque celui-ci est inefficace. On n'obtiendra pas davantage du canonnier, qu'il se taise sous le feu de l'adversaire. Entendant éclater les shrapnells autour de lui, il sera conduit à répondre. Dans ces conditions la lutte d'artillerie se prolongera jusqu'à ce que l'un des adversaires s'avoue vaincu et retire ses batteries du feu, dans des positions de repli, en attendant le moment critique.

Quoi qu'il en soit de ce parallèle, ne perdons pas de vue que l'artilleur est bien mieux dans la main de son chef que le fantassin, parce qu'il est fortement encadré et parce qu'il n'assure qu'une partie du service de sa pièce.

Le commandant en chef déclare le moment d'attaque décisive arrivé. Des troupes fraîches sont rassemblées devant la clef de la position; tout est préparé pour poursuivre l'exécution du drame sans permettre à l'ennemi de se reconnaître. L'artillerie qui peut battre l'objectif choisi, y concentre rapidement son feu. Elle est divisée en deux fractions principales. La première, empruntée de préférence à l'artillerie divisionnaire, comprend les batteries d'accompagnement qui se lient intimement à l'infanterie, la suivent de près, lui ouvrent le chemin partout où elle rencontre de la résistance. La seconde, formée surtout par l'artillerie de corps et, le cas échéant, par celle des troupes de deuxième ligne, comprend les contre-batteries, dont la mission consiste à faire taire l'artillerie adverse qui voudrait rentrer en action; elle comprend également les batteries d'encadrement qui surveillent les abords de la position à enlever et ont pour rôle de parer aux contre-attaques éventuelles; elle compte enfin les batteries de préparation qui battent l'objectif en front et cherchent à atteindre les réserves dissimulées en arrière de la ligne principale.

Aussitôt que l'assaut a réussi les batteries d'accompagnement viennent occuper la position ennemie. Momentanément inutilisée, l'artillerie de la seconde fraction dessinera, en cas d'échec, la ligne défensive à occuper pour couvrir la retraite et arrêter la poursuite.

Telles sont, en quelques mots, les notions indispensables à ceux qui veulent se faire une idée de l'emploi tactique du nouveau matériel qui sera bientôt entre les mains de nos artilleurs.

H.

III

THULÉ, TULA ou OGYGIE

L'Ile des Bienheureux

(Commentaire sur un passage de Plutarque)

Dans l'étude des manifestations de l'esprit humain, il n'est pas sans intérêt d'examiner où et quand les légendes se sont formées ; si elles sont le produit d'une génération spontanée ou bien l'écho de traditions étrangères ; comment elles se sont propagées et pourquoi elles ont été localisées dans telle ou telle contrée où elles trouvaient quelques points de repère, tandis que la nature, les hommes ou les choses différaient en général de leurs descriptions. Nous avons essayé de montrer que la *Fable des Amazones*, répandue dans les deux Amériques, n'en était pas originaire, mais qu'elle y avait été importée de l'Europe dans des temps fort anciens (1). On devine pourquoi l'*Eldorado* a été, par suite d'exagérations, localisé dans une région où il y a des mines d'or. Il serait plus difficile d'expliquer pourquoi les Hyperboréens ont été dépeints sous des couleurs si flatteuses dans les traditions grecques. Leur fabuleux pays a pour pendant, chez les Scandinaves, *Odáinsakr* (2), le Champ d'immortalité et, chez les Celtes, l'*Ultima Thule,* en tant qu'ils la donnent pour un paradis terrestre. La situation que, d'après ces derniers, certains peuples des deux mondes assignent à cet élysée, au nord-ouest des Iles Britanniques et au nord-est de la Pensylvanie, nous donne la certitude que la *Tula* des Lenapés de la Delaware, des Nahuas du Mexique et du Nicaragua, des Mayas, des Quichés, des Cakchiquels de l'Amérique moyenne, et la *Thulé* des Européens d'avant notre ère, correspondent exactement à l'Islande. Les deux plus anciens noms de cette île ont d'ailleurs le même radical nahua, ce dont ne seront pas surpris

(1) *La Fable des Amazones chez les indigènes de l'Amérique précolombienne*, dans Muséon, nouv. sér., t. V. Louvain, 1904, in-8°.

(2) *Saga Eireks Vidfœrla*, dans Flateyjarbók, Christiania, in-8°, t. I, 1859, pp. 29-35, et *Fornaldar Sœgur Nordrlanda*, édit. par Valdimar A'smundarson, Reykjavik, in-12, t. III, pp. 518-527.

ceux qui savent, d'après les traditions des Toltecs (1) et des Quichés (2), que des Yaquis ou Mexicains y habitaient dans les temps les plus reculés et que leur chef, portant des titres ou des noms nahuas (*Quetzalcoatl* et *Nacxitli*), comme ses compagnons connus (3), se servit du nahua pour donner l'investiture à un prince (4) de langue différente (Orbaltzam, probablement Quiché), venu de l'Amérique moyenne. Θούλη, *Thule*, *Tyle* sont en effet des formes européennes de *Tula*, *Tulan, Tollan*, formes syncopées du nahua *Tonallan* ou *Tonala* (5); et elles ne sont pas seulement homomorphes et homophones : nous savons pertinemment que les unes et les autres ont la même signification de *Place du Soleil* (6), parce que cet astre y stationne, c'est-à-dire y reste au-dessus de l'horizon, au moins vingt-quatre heures, au solstice d'été. Cette circonstance, jointe à la situation sous le cercle polaire, à cinq ou six journées de navigation au

(1) B. de Sahagun, *Hist. génér. des choses de la Nouvelle-Espagne*, trad. par D. Jourdanet et R. Siméon. Paris, 1880, gr. in-8°, l. III, ch. 4, 12, 13; prol. du l. VIII; l. X, ch. 29, pp. 209, 217, 218, 498, 659, 663; — J. de Torquemada, *Monarchia Indiana*, 2e édit. Madrid, 1723, in-4°, l. IV, ch. 13, p. 379 du t. I; l. VI, ch. 24, pp. 49, 50, 51 du t. II; — Tezozomoc, *Cronica Mexicana*, édit. par Orozco y Berra, Mexico, 1878, in-8°, ch. 105, 107, 108, pp. 681, 687, 691; — Gabriel de Rojas, *Relacion de Cholula*, mscr., extrait avec le texte des principaux passages précités, dans notre mém. sur la *Tula primitive, berceau des Papas du Nouveau-Monde* (MUSÉON, 1891, pp. 213-216).

(2) *Popol Vuh*, texte et trad. par Brasseur de Bourbourg. Paris, 1861, gr. in-8°, pp. 212-3, 216-7, 246-7; — *Titulo de los Señores de Totonicapan*, trad. espagnole de D.-J. Chonay, avec trad. franç. par le comte de Charencey. Alençon, 1885, in-8°, pp. 28-29, 32-33, 36-39.

(3) Tezozomoc, *op. cit.*, ch. 105, p. 682. Voy. *infra*, pp. 588.

(4) *The Annals of the Cakchiquels*, texte avec trad. angl. et notes, par Dan. G. Brinton, Philadelphie, 1885, in-8°, pp. 88-91.

(5) *Coatepec*... términos de *Tonalan*, Lugar del sol (Tezozomoc, *Cron. Mexic.*, ch. I, p. 226); — Hácia la parte de *Tula*...... un cerro que se llama *Coatepec* (D. Duran, *Hist. de las Indias de Nueva-España*, édit. par J.-F. Ramirez, t. I. Mexico, 1867, in-4°, p. 23); — Un cerro que está antes de *Tula*, que se llama *Coatebeque* (*Historia de los Mexicanos por sus pinturas*, 2e édit., par J. Garcia Icazbalceta, dans sa *Nueva Coleccion de documentos para la historia de Mexico*, t. III, Mexico, 1891, in-8°, p. 241); — *Tonala* quiere decir Lugar del sol (M. de la Mota Padilla, *Hist. de la conquista de la provincia de la Nueva-Galicia*, Mexico, 1870, in-4°, p. 38).

(6) *Thule* a sole nomen habens, quia in ea æstivum solsticium sol facit (Isidore de Séville, *Liber etymologiarum*, l. XIV, ch. 6); — Cfr Dicuil, *De mensura orbis terræ*, ch. 7, § 2, n° 3. — Le sens de Tula est non moins nettement déterminé dans la note précédente.

nord-ouest (1) des îles Britanniques (2), ne permet ni de chercher dans les Orcades, les Shetlands ou en Norvège, ni de localiser autre part qu'en Islande, la Thulé primitive, celle que les Celtes hellénisés et les Gaëls christianisés ont connue *de visu*, longtemps avant l'établissement des colons scandinaves.

Le curieux phénomène du jour sans nuit caractérisait également l'île d'Ogygie, située à cinq jours de navigation à l'ouest de la Grande-Bretagne (3), dans le voisinage de la mer Glaciale, que quelques-uns appelaient *Cronium* (4). On a rapproché ce nom du gallois *crawn* (5), réunion, amas, amoncellement, qui désignerait assez bien les glaçons amoncelés en banquise, mais qui s'expliquerait peut-être mieux par le vieux norrain *gróinn*, rendu en latin par *consitus*, réuni en un tout, lié ensemble [comme les molécules d'eau qui se congèlent]. Au reste, que *Cronium* soit la transcription du substantif cymrique ou du participe islandais, son analogie avec Kronos a sans doute contribué à faire identifier cette mer avec l'océan *Kronien* (6)

(1) On va voir que la plupart des anciens disent, sans addition, les uns au nord, les autres à l'ouest de la Bretagne. Leurs contradictions apparentes prouvent qu'ils ne se sont pas copiés, mais qu'ils ont puisé à des sources différentes, et elles n'empêchent pas que tous ne soient dans le vrai, car il ne s'agit pas là d'un des quatre points cardinaux, mais des côtés d'un carré s'étendant respectivement pour le couchant du S.-O. au N.-O. et pour le nord du N.-O. au N.-E. C'est ainsi qu'en terme de marine le latin *plaga*, le français *bande*, l'espagnol *banda*, s'appliquent à un côté et non à un point. Isidore de Séville, tenant compte de la double orientation de ces auteurs, a mieux précisé dans ce passage : « *Thule* ultima Oceani insula inter septentrionalem et orientalem plagam, ultra Britanniam ». *Liber etymologiarum*, l. XIV, ch. 6).

(2) A six jours de navigation au nord de la Bretagne et dans le voisinage de la mer Glaciale, sous le cercle polaire, dit Pytheas cité par Strabon, qui, tout au moins en ce point, le critique sans raison (*Geogr.*, l. I, ch. 4, § 3; l. II, ch. 5, § 8; l. IV, ch. 5, § 8). — Ultima omnium quæ memorantur, Thule in [qua solstitio nullas esse noctes indicavimus (Pline, *Hist. nat.*, l. IV, ch. 30, § 5); Quod fieri in insula Thule, Pytheas Massiliensis scripsit, sex dierum navigatione in septentrionem a Britannia distante (Id., *ibid.*, l. II, ch. 77). — Multæ et aliæ circum Britanniam insulæ, e quibus Thule ultima, in qua æstivo solsticio, sole de cancri sidere faciente transitum, nox pene nulla..... Ab Orcadibus Thulen usque quinque dierum navigatio est (Solin, *Polyhistor.*, l. II, ch. 22).

(3) Plutarque, *De facie in orbe lunæ*, § 26, p. 1151 du t. I des *Scripta Moralia*, édit. par Dübner. Paris, 1839, gr. in-8°.

(4) « Sunt qui et alias [insulas] prodant, Scandiam [Scanie], Dumnam [Danniam? Danemark], Bergos [Bergen], Nerigon [Noreg, Norvège], ex qua in Thulen navigatur. A Thule unius diei navigatione mare *concretum*, a non nullis *cronium* appellatur » (Pline, *Hist. nat.*, l. IV, ch. 30).

(5) Lor. Dieffenbach, *Celtica*. I. Stuttgart, 1839, in-8°, p. 115.

(6) Plutarque, *De facie*, § 26, p. 1151 du t. I.

ou *Saturnien* (1) et l'Islande avec la citadelle ou l'île de Kronos. On fut d'autant plus naturellement amené à transporter au Nord le mythe grec (2) sur les îles Fortunées, que l'on n'avait pu découvrir dans l'Ouest rien de correspondant à celles-ci, tandis que les Celtes les localisaient, avec aussi peu de raison, dans des îles mal explorées et par suite mystérieuses : d'abord dans un des archipels voisins de la Bretagne; puis, après avoir étendu leurs connaissances géographiques, à Thulé; finalement, après avoir occupé l'*Islande* (mot à mot : le pays glacial), dans les climats plus favorisés de l'Amérique septentrionale. En tout cas Tzetzès, qui s'appuyait sur les anciens, n'ignorait pas que cette localisation postérieure était d'origine celtique : après avoir rapporté que les mânes se rendaient en Brittia sur des embarcations magiques, il ajoute : « De là se répandit chez les Grecs la croyance que c'était le séjour des âmes des morts, ce que Hésiode (3) dit également des héros » (4).

La présence supposée du père des dieux, supplanté par Jupiter et retenu captif par Briarée (5), dans un antre d'Ogygie (6), suffisait à en faire une de ces îles sacrées que les barbares du voisinage de la Grande-Bretagne, c'est-à-dire les Celtes, croyaient être habitées par les génies et les mânes des héros et des grands (7).

(1) « At Boreæ qua gens fervens Arimaspa sub armis,
Dicitur ille [oceanus] piger, nec non *Saturnius* : idem
Mortuus est aliis... » (Prisciani *Periegesis ex Dionysio*, v. 40-42, p. 161 de l'édit. de Pomponii Melæ *De situ orbis*. Strasbourg, 1809, in-8°.)

(2) Pindare, *Olympiques* II, dans *Opera quæ supersunt*, édit. par Aug. Boeckh, Leipzig, 1811-1822, t. I, part. I, pp. 12-13; t. II, part. II, p. 32.

(3) Plutarque, *De defectu oraculorum*, § 18, p. 511 du t. I de ses *Scripta moralia*, édit. Dübner.

(4) Commentaire sur Hésiode, dans Plutarchi *Fragmenta spuria*, t. V de ses *Opera*, édit. Dübner, Paris, 1855, gr. in-8°.

(5) Plutarque, *De defectu oraculorum*, § 18, p. 511 de l'édit. préc.

(6) Id. *De facie*, § 26, p. 1152 de l'édit. préc.

(7) « Jupiter Saturnien permit [aux héros] de vivre et d'habiter à l'écart des hommes, et il les établit aux extrémités de la terre, loin des immortels, sous le sceptre de *Kronos*. Ces héros fortunés jouissent de la quiétude, au *milieu de l'Océan tempétueux*, dans les îles des Bienheureux où la fertilité du sol fait fleurir trois fois chaque année l'arbre aux fruits suaves » (Hesiodi *Opera et dies*, v. 167-173, édit. par F.-S. Lehrs. Paris, 1850, gr. in-8°).

L'allusion à l'oranger dénote qu'au temps d'Hésiode les Grecs confondaient encore le séjour des Bienheureux avec le Jardin des Hespérides localisé successivement en Cyrénaïque, en Mauritanie, dans les îles Fortunées, avant de l'être dans les îles septentrionales et finalement dans les pays transatlantiques.

L'imagination, brodant sur ce thème, représentait comme merveilleuse la nature de cette île où, malgré sa situation septentrionale, l'air ambiant était d'une douceur extraordinaire et parfumé par l'ambroisie dont vivait Kronos (1). Les mortels eux-mêmes qui allaient y faire des sacrifices, coulaient dans le repos et l'abondance des jours heureux exclusivement consacrés aux exercices du culte, à l'étude des lettres et de la philosophie (2). Une partie d'entre eux poussèrent plus loin et, s'avançant, à l'ouest, d'échelon en échelon, vers des contrées plus éloignées d'Ogygie que cette île ne l'était de la Bretagne, ils fondèrent au moins trois stations, dans des îles voisines d'un immense continent, et une colonie sur les rives d'un golfe non moins grand que la Méotide européenne et situé à la même latitude, c'est-à-dire par 47° de lat. N. La précision et l'exactitude de ces détails (3) attestentla véracité du récit fait au dictateur [?] Sylla par un prêtre de Kronos qui était allé en pèlerinage de la Nouvelle-Méotide [golfe du Saint-Laurent] à Ogygie et de là à Carthage où Kronos [Moloch] était fort honoré (4).

Les émigrants, que le pèlerin appelait des Grecs, mais qui devaient être des Celtes hellénisés (5), ayant successivement exploré les échelles nord-atlantiques et le littoral de l'Amérique du Nord jusqu'au Saint-Laurent sans y découvrir la terre des Bienheureux, ne renoncèrent pas à l'espoir de la trouver, mais ils la cherchèrent cette fois dans la direction du sud-est. Leurs propres traditions, dont les auteurs classiques ont répercuté de faibles échos, nous ont guidés jusqu'à une contrée du Nouveau Monde où elles s'arrêtent, sans nous laisser pourtant au dépourvu, car c'est précisément aux confins du Canada et des États-Unis que les légendes du Mexique reprennent le fil de la narration pour nous mener jusqu'à l'Amérique centrale. D'après ces dernières,

(1) Plutarque, *De facie*, § 26, p. 1153.

(2) Id., *ibid.*, pp. 1152-1153.

(3) Cfr nos mém. sur l'*Élysée transatlantique et l'Éden occidental*, dans Revue de l'hist. des religions, t. VII. Paris, 1883, in-8°, pp. 278-284; et l'*Élysée des Mexicains comparé à celui des Celtes* (même Revue, t. X, 1884, pp. 2-10).

(4) Plutarque, *De facie*, § 26, pp. 1151, 1152, 1153 de l'édit. précitée.

(5) On l'infère de ce que Plutarque (*De defectu*, p. 511 et *De facie*, p. 1151, cfr Tzetzès, *supra*, p. 585) attribue aux Bretons la tradition sur le Paradis Ogygien et qu'il donne en même temps la qualification de Grecs aux propagateurs du culte de Saturne dans la Nouvelle-Méotide.

les *Toltecs* [littéralement : *Gens de Tula* (1) ou *Thulites*], sous la conduite de *Quetzalcoatl* [chef à panache], naviguant le long de la Florida (2) allèrent débarquer à Panuco dans le golfe du Mexique, montèrent sur le haut plateau de l'Anahuac et y fondèrent une ville qu'ils appelèrent *Tula*, du nom de l'île d'où ils venaient (3). Expulsés par les sectateurs de divinités sanguinaires auxquelles ils ne voulaient pas sacrifier de victimes humaines (4), ils marchèrent vers la région isthmique, à la vue des hautes montagnes, parce que d'anciennes traditions plaçaient l'Élysée au sommet de l'une d'elles (5). Ils allèrent de la sorte au moins jusqu'en Nicaragua (6).

Si maintenant nous reprenons le même itinéraire en sens inverse, nous trouverons dans plusieurs des contrées où avaient séjourné ces émigrants, des réminiscences de *Tula* considérée comme paradis terrestre. La population nahua du *Nicaragua* croyait que les âmes des guerriers, des gens pieux et des bons allaient auprès de leurs créateurs Tamagostad et Cipattonal qui, après avoir vécu parmi les mortels, s'étaient retirés dans la direction de l'est (7). — Un peuple de famille différente, les *Cakchiquels* du Guatemala, dont les ancêtres avaient passé par *Tullan* ou *Tula*, au nord de l'Océan de l'Est [Atlantique], regardaient ce pays comme une source de lumière, d'intelligence et de puissance (8). — Leurs voisins, les *Quichés*, qui savaient être de même origine qu'eux et à qui la plantureuse nature tropicale

(1) Du nahua *Tollan*, *Tulan* ou *Tula* apocopé à cause de la suffixe *tecatl*, au pluriel *teca*, hommes, gens. Le tout signifie : *hommes de la station du Soleil*, ou *de Thulé*.

(2) Terme que les écrivains espagnols du XVI[e] siècle employaient pour désigner non seulement la Péninsule de ce nom, mais encore tout le littoral depuis le Texas jusqu'au Labrador (Voy. les sources citées dans notre mém. sur les *Migrations d'Europe en Amérique pendant le moyen âge ; les Gaëls* dans MÉM. DE LA SOC. BOURGUIGNONNE DE GÉOGRAPHIE ET D'HISTOIRE, t. VII, p. 140, n. 1. Dijon, 1891, in-8°).

(3) Gomara, *Conquista de Méjico*, édit. de Vedia, p. 431, Madrid, 1863, in-8°. — Cfr G. de Rojas, J. de Torquemada, A. de Vetancurt, cités dans la *Tula primitive*, pp. 212-213.

(4) Voy. les textes reproduits dans l'*Élysée des Mexicains*, p. 281, n. 1.

(5) B. de Sahagun, *Hist. gén. des choses de la Nouvelle-Espagne*, prol. du l. 1, p. 9 ; prol. du l. VIII, p. 495 ; l. X, ch. 29, pp. 673-675.

(6) Torquemada, *Mon. ind.*, t. III, ch. 40, pp. 331-333.

(7) Oviedo y Valdés, *Hist. general y natural de las Indias*, édit. par J. Amador de los Rios, t. IV, Madrid, 1855, in-4°, pp. 45 et suiv.

(8) *The Annals of the Cakchiquels*, pp. 138-139. — Cfr. *Popol Vuh*, pp. 228-229 : « A Tulan leur vint leur majesté, cette grande sagesse qui était en eux ».

n'avait pas fait oublier les jeûnes et le froid endurés par leurs ancêtres dans la glaciale *Tulan* (1), ne laissèrent pourtant pas d'y envoyer leurs premiers princes pour recevoir l'investiture de *Quetzalcoatl* ou *Nacxit*. Ces noms ou pour mieux dire ces titres nahua jureraient dans un texte purement quiché, si l'on ne savait que des Yaquis (2) ou Mexicains se trouvaient à Tula, lors du passage des Quichés et qu'ils y restèrent longtemps après le départ des émigrants parlant d'autres idiomes (3).

C'est là que résidait le grand seigneur, le juge suprême (4), représentant du dieu Quetzalcoatl dont il portait le nom (5). Son homonyme, le chef Toltec, blanc et barbu, qui introduisit la civilisation au Mexique et dans l'Amérique centrale, retourné dans l'Est, à Tula d'où il était venu, y fut rajeuni (6) et il y jouit de l'immortalité avec les magiciens qu'il y emmena (7). On peut se faire une idée de ce qu'était pour les élus le séjour dans la Tula nord-atlantique quand on lit chez Sahagun (8) la description de la plantureuse, riche et florissante Tula de l'Anahuac. Celle-ci qui était le reflet de l'autre offre bien des traits que les anciens appliquaient à la merveilleuse nature d'Ogygie (9), à l'abondante pomone de l'ultima Thula (10), à la citadelle de Kronos où les bons et les justes, parés de guirlandes de fleurs et jouissant à toute heure de la lumière du soleil, menaient une vie heureuse en la compagnie des amis des dieux (11). Les analogies seront encore

(1) *Popol Vuh*, pp. 218-223, 230-233.

(2) En nahua : *qui marche*, nom qui cadre bien avec celui du dieu ou grand prêtre, *Nacxitli*, quatre pieds, rendu en espagnol par *caminador* (Tezozomoc, *Cron. mexic.*, ch. 108, p. 61), et qui doit faire allusion à la tetraskèle, emblème de Quetzalcoatl considéré comme dieu de l'air et des vents.

(3) *Popol Vuh*, pp. 242-247, 292-295.

(4) *Ibid.*, pp. 294-295.

(5) Sahagun, l. X, ch. 29, p. 659; — Torquemada, *Mon. ind.*, l. III, ch. 7, p. 255 du t. I; l. VI, ch. 7 ; l. IX, ch. 31, pp. 20, 221-222 du t. II.

(6) Sahagun, *Hist. gén.*, l. X, ch. 29, p. 659; — Torquemada, l. VI, ch. 7, 24, pp. 20-49 du t. II.

(7) Voyez, seigneur [Montezuma], ce que l'on rapporte de Ceteuctli, un grand seigneur qu'emmena Quetzalcoatl. N'allèrent-ils pas demeurer dans la *mer de l'Est*, avec leurs principaux [compagnons], Matlacxochitl, Ozomatli et Timal, qui étaient les plus grands magiciens de Tula? Finalement, ils furent préservés de la mort par leur roi et seigneur Quetzalcoatl, quoiqu'ils ne soient plus de ce monde (Tezozomoc, *Cron. mexic.*, ch. 105, p. 681).

(8) *Hist. gén.*, l. III, ch. 3, p. 207-209; l. X, ch. 29, pp. 656-659.

(9) Plutarque, *De facie*, § 26, p. 1152.

(10) Solin, l. I, ch. 22. — Cfr Tzetzès, *op. cit.*, p. 20.

(11) Pindare, *Olympiques*, II, pp. 12-13 du t. I, part. I de l'éd. Boeckh.

plus frappantes si l'on compare ces descriptions aux légendes des Celtes sur le paradis de l'Atlantique (1). Celles-ci, malheureusement, ne sont pas assez précises sur la localisation pour que l'on sache si *Tir na mBeo* (Terre des Vivants), *Mag mel* (Plaine de délices), *Tir na nOg* ou *Tir na hOge* (Terre des Jeunes ou de Jouvence), correspondent à la Tula ogygienne ou à la Tula de l'Anahuac.

Non moins attrayante était la grande et belle île au centre de laquelle les Lenni-Lenapés plaçaient la demeure du Grand Esprit, au sommet d'une haute montagne et où étaient accueillies les âmes des élus : les sages, les braves, les chasseurs infatigables, les hommes bons et hospitaliers. Elle était située au nord-est du bassin de la Delaware (2), autrefois occupé par les Lenapés, dont les ancêtres avaient été civilisés par un bienfaiteur né miraculeusement d'une Européenne (3) et qui se donnaient le nom caractéristique d'*Obunego* (*Opuh'nanke* ou *Abenaki*, selon les dialectes), signifiant tout à la fois *Oriental* et *Blanc* (4). Ils avaient passé par Tula, résidence de leur manitou *Nanabouch* (5), évidemment identique avec le Grand Esprit du *Wak-an-da* (Pays de la vie, correspondant à *Tir na mBeo* des Gaëls), où le soleil ne cesse jamais de luire, où règne un printemps perpétuel, où les Bienheureux ne vieillissent pas, où ils ont en abondance des buffles, des cerfs, des chevreuils, des loutres, des castors, des poissons, où des forêts ombragent les campagnes qui sont couvertes de fleurs (6). Les Lenapés appartiennent à la grande famille Algonkine, dont plusieurs autres tribus ont également des traditions sur un paradis des hommes immortalisés, différant

(1) La plupart d'entre elles ont été analysées et commentées dans nos mém. sur *la Grande terre de l'Ouest dans les documents celtiques du moyen âge* (Extr. du *Compte rendu de la 4e session du Congrès des Américanistes tenu à Madrid en 1881*, Madrid, 1882, in-8°, t. I) ; — l'*Élysée des Mexicains comparé à celui des Celtes*.

(2) J. Heckewelder, *Histoire, mœurs et coutumes des nations indiennes qui habitaient autrefois la Pensylvanie*, trad. par Du Ponceau, Paris, 1822, in-8°, ch. 29, pp. 472-474.

(3) Dan. G. Brinton, *American Hero-Myths*. Philadelphie, 1882, in-8°, p. 53 ; — *The Lenâpé and their Legends*. *Ibid.*, 1885, in-8°, p. 132.

(4) Heckewelder, *op. cit.*, pp. 41-42 ; — Charles-G. Leland, *The Algonkin Legends of New-England*, Boston, 1884, in-18, p. 1. Cfr p. 50, n. 1 ; — Brinton, *The Lenâpé*, p. 19 ; — H.-R. Schoolcraft, *The Indian Tribes of the United States*, Philadelphie, 1856, in-4°, t. V, pp. 192, 420, 436-7, 490.

(5) *The Walam Olum*, dans *The Lenâpé*, de Brinton, pp. 177-185.

(6) *Cinquante nouvelles lettres*, du R. P. de Smet, publiées par Ed. Terwecoren. Paris, 1858, in-18, pp. 219-220.

essentiellement du séjour des mânes ordinaires et toujours localisé dans la mer de l'Est ou du Septentrion (1). Or il ne faut pas perdre de vue que les Algonkins occupaient autrefois et occupent encore en partie le littoral du golfe Saint-Laurent, l'ancienne Méotide américaine. Par suite de leur contact avec les colons hellénisés ou plutôt avec les Nahuas de ce pays qui envoyaient des missionnaires à la Tula Ogygienne, ils ont été soumis à l'influence des uns ou des autres, et telle est évidemment l'origine de leur légende sur son paradis Atlantique, correspondant pour la situation, et pour les caractères tout à la fois géographique et fabuleux, à l'Élysée Kronien des barbares hellénisés de l'Europe occidentale. C'est d'autant plus vraisemblable que la plupart des autres peuples localisent le paradis terrestre, qui d'un côté, qui de l'autre, tandis qu'au contraire toutes les populations américaines, dont les civilisateurs ou les ancêtres se rattachaient à la race blanche et barbue, s'accordent à le placer à l'est, dans l'Atlantique.

EUG. BEAUVOIS.

(1) Un grand nombre de traditions congénères ont été extraites ou analysées et commentées dans un mémoire en préparation sur *le Paradis de l'Atlantique*, d'après les traditions concordantes de l'Ancien et du Nouveau Monde.

BIBLIOGRAPHIE

I

I. — Œuvres de Charles Hermite, publiées sous les auspices de l'Académie des Sciences, par Émile Picard, membre de l'Institut. Tome I. Un vol. gr. in-8° de xl-498 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1905.

II. — Correspondance d'Hermite et de Stieltjes, publiée par les soins de B. Baillaud, doyen honoraire de la Faculté des Sciences, directeur de l'Observatoire de Toulouse et H. Bourget, maître de conférences à l'Université, astronome-adjoint à l'Observatoire de Toulouse, avec une préface d'Émile Picard, membre de l'Institut. Deux vol. gr. in-8° de xx-476 et 457 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1905.

I. — Lorsque, chargé d'ans et de gloire, Hermite entra dans l'éternité, la Société scientifique de Bruxelles, qui pouvait se flatter de le compter parmi ses membres fondateurs et qui n'en eut point de plus illustre, sut dignement le louer (1) par la plume de M. Mansion qui, en termes éloquents, retraça sa carrière, et par celle de M. Jordan qui fixa en une sobre esquisse les grandes lignes de son œuvre scientifique. Les deux notices étaient accompagnées d'une liste des ouvrages, mémoires et notes d'Hermite (2).

La pensée sur laquelle s'arrêtait M. Jordan doit être rappelée ici : « L'œuvre d'Hermite est fort éparpillée ; en dehors des principaux mémoires, elle contient beaucoup de lettres ou notes concises dispersées çà et là, mais qui portent toutes la griffe du lion. L'Académie s'honorerait et rendrait un grand service

(1) Revue des Questions scientifiques, 2e série, t. XIX, pp. 352 à 396.

(2) Liste complétée d'après une bibliographie de M. G. Loria dans le tirage à part qui a été mis en vente à la librairie Gauthier-Villars.

aux géomètres en entreprenant la publication des œuvres complètes de Charles Hermite ».

Le vœu de M. Jordan, conforme d'ailleurs aux intentions de la famille d'Hermite, a été exaucé : sous les auspices de l'Académie des Sciences de Paris, un de ses membres les plus distingués, étroitement uni à l'illustre mort par le double lien de la science et de la famille, a pris soin de réunir et de publier ses œuvres complètes.

Pour accomplir cette tâche délicate, M. Émile Picard avait, dès la première heure, rencontré l'aide d'un jeune géomètre, Xavier Stouff, connu par des travaux d'une haute distinction, et qui, pour faire disparaître de l'édition définitive les fautes d'impression qui s'étaient glissées dans plusieurs mémoires lors de leur publication originale, avait accepté de refaire la plupart des calculs qui s'y rencontraient. Une mort prématurée a malheureusement privé M. Picard de ce précieux collaborateur. Mais la tâche qu'il avait assumée, et déjà accomplie en grande partie, a été poursuivie. On peut donc considérer que cette belle édition, à laquelle — et c'est tout dire — la maison Gauthier-Villars a apporté ses soins les plus scrupuleux, est affranchie des imperfections de détail, à peu près inévitables lors d'une première impression, que pouvaient, sous leur forme primitive, offrir les divers travaux ici réunis.

L'ouvrage débute, en manière de préface, par l'admirable leçon que la piété filiale de M. Picard consacra naguère, en Sorbonne, à l'œuvre scientifique d'Hermite et qu'il faut lire si l'on veut pénétrer de prime abord toute la pensée de l'illustre analyste. Analyste il le fut de façon en quelque sorte représentative. A l'encontre d'autres grands mathématiciens — parmi lesquels, pour ne citer que des morts, Gauss et Cauchy — dont l'activité intellectuelle s'est dépensée dans les branches les plus diverses de la science, étendue même jusqu'au domaine de ses applications physiques, Hermite s'est, en quelque sorte, confiné dans la seule région où domine le nombre pur, arithmétique et algèbre supérieures, calcul intégral, mais pour y affirmer une maîtrise que tout l'univers savant s'est plu à reconnaître et à proclamer.

Cette invincible tendance d'esprit s'affirme avec éclat dès ses travaux de début où se montre déjà cette « griffe du lion » dont parle M. Jordan. Elle se révèle dans ces remarquables *Considérations sur la résolution algébrique de l'équation du cinquième degré,* par lesquelles, simple candidat à l'École Polytechnique,

Hermite s'imposait du premier coup à l'estime particulière des algébristes en établissant à sa manière une vérité fondamentale déjà rencontrée par Abel, mais à laquelle il parvenait à son tour par une voie toute personnelle. Elle se retrouve encore dans cette admirable découverte de la division des fonctions abéliennes, travail d'un simple étudiant, que Jacobi, alors parvenu au point culminant de sa glorieuse carrière, jugeait digne de figurer dans le recueil de ses Œuvres complètes. Ce sont ces mêmes travaux qui ouvrent aujourd'hui le recueil des Œuvres d'Hermite, rattachant, en quelque sorte, par un trait de lumière, l'École de haute analyse de la première moitié à celle de la seconde moitié du XIXe siècle. Car, pendant plus d'un demi-siècle, la force productive du grand géomètre français ne s'est jamais ralentie, offrant, par chacune de ses manifestations, au monde savant une nouvelle occasion d'admirer et d'apprendre.

A la suite d'une série de notes se rattachant à l'objet des premières méditations d'Hermite, soit à la théorie des fonctions elliptiques et abéliennes, nous en trouvons, en suivant l'ordre chronologique, d'autres qui marquent l'évolution de ce grand esprit dans un sens purement arithmétique, sous l'influence de la lecture des *Disquisitiones arithmeticae* de Gauss, dont, à cette époque, il faisait, en quelque sorte, sa pâture quotidienne, de même qu'aux premières années de son initiation mathématique c'est dans l'œuvre algébrique d'Euler et de Lagrange qu'il avait puisé son principal aliment. On retrouve là les quatre fameuses lettres à Jacobi sur la théorie des nombres, au sujet desquelles M. Picard dit, dans sa préface : « Rien ne montre mieux que ces lettres le génie d'Hermite; la puissance d'invention sur des sujets aussi nouveaux et aussi difficiles y est prodigieuse. Les idées s'y pressent abondantes et touffues; elles seront développées et précisées dans des Mémoires ultérieurs, et il en est plus d'une dont la fécondité n'est pas encore épuisée. » C'est dans le champ de la théorie arithmétique des formes quadratiques à un nombre quelconque de variables que s'exerce surtout cette puissance d'invention. Au nombre des Mémoires dans lesquels se développe la pensée de l'illustre analyste sur ce vaste sujet, figure notamment celui sur l'introduction des variables continues dans la théorie des nombres, qui marque une des dates les plus importantes de l'évolution des méthodes dans le domaine de la haute arithmétique et a ouvert des horizons dont la complète exploration est encore bien loin d'être achevée. Hermite d'ailleurs ne s'est pas borné à la seule consi-

dération des formes à variables réelles; en abordant le champ des variables complexes, il a doté la science d'une notion nouvelle, celle des formes à indéterminées conjuguées qui s'est, elle aussi, montrée d'une remarquable fécondité.

Ces profondes études sur la théorie des formes quadratiques, en amenant Hermite aux formes de degré quelconque pour lesquelles le côté algébrique de la question prend un développement considérable, le préparaient admirablement à prendre une part importante à la constitution de cette algèbre nouvelle qui, inaugurée en 1845 par un mémoire célèbre de Cayley, fut mise en valeur principalement par les recherches concourantes de l'éminent professeur de Cambridge, de Sylvester et d'Hermite.

« Leurs travaux, a dit M. Jordan dans la notice rappelée plus haut, sont tellement entrelacés dans une rivalité fraternelle qu'il serait difficile et à peine désirable de préciser exactement la part de chacun d'eux dans l'œuvre commune. Il semble toutefois que l'on puisse attribuer spécialement à M. Hermite la loi de réciprocité, la découverte des covariants associés, celle des invariants gauches, et la formation du système complet des covariants des formes cubiques et biquadratiques et des invariants de la forme du cinquième ordre. »

Les mémoires fondamentaux d'Hermite relatifs à ce nouveau chapitre de l'algèbre, figurent encore dans le volume que nous avons sous les yeux.

Deux autres volumes renfermeront probablement le reste des œuvres d'Hermite. On voudra sans doute bien nous permettre de formuler un vœu à cet égard. Certes, par ses recherches personnelles, l'illustre géomètre a eu une influence dominante sur le mouvement mathématique de son temps; mais son rayonnement ne s'est pas moins exercé par son enseignement dont il s'acquittait comme d'un apostolat; il fut un maître incomparable; divers témoignages rapportés par M. Mansion, dans la notice biographique précédemment citée, sont bien probants à cet égard. Celui qui écrit ces lignes, encore présent sur les bancs de l'École Polytechnique pendant l'année scolaire 1881-82, ne se rappelle pas sans émotion les leçons sur la théorie des fonctions de variables imaginaires qu'Hermite vint donner à cette époque à l'École en remplacement du professeur titulaire (1) retenu pour quelque temps loin de Paris par des devoirs de famille. En quelques touches larges et simples, il fit entrevoir aux yeux de

(1) Joseph Bertrand, le propre beau-frère d'Hermite.

son auditoire émerveillé l'imposante beauté de la moderne théorie des fonctions, faisant concourir les élégantes et fécondes méthodes de Cauchy à l'édification des solides assises données à la théorie par les admirables travaux de Weierstrass.

On serait presque tenté de dire qu'en faisant passer dans l'enseignement les conquêtes de ses émules, dont nul plus que lui, d'ailleurs, ne s'attachait à faire éclater le mérite, il les rendait pour ainsi dire siennes par le tour absolument nouveau que ses procédés d'exposition arrivaient à leur imprimer.

Il ne faudrait pas que de cette partie de son œuvre, moins originale sans doute que la première, mais revêtue d'un caractère non moins personnel, il ne restât que le souvenir évoqué par l'unanimité de ceux qui ont eu le rare bonheur d'en bénéficier. « C'est, a dit M. Painlevé, dans le cours autographié d'Hermite, remanié à fond chaque année, que toute la jeune école des mathématiciens français a appris l'analyse. » Il serait grand dommage que toutes les richesses accumulées dans des publications d'un caractère aussi précaire fussent perdues pour les générations à venir. Une sélection délicatement opérée, sous la direction de l'éminent géomètre qui veille à la publication des œuvres de son beau-père, permettrait sans doute d'extraire de ces feuilles autographiées diverses parties qu'il serait d'un intérêt général de voir subsister sous la forme définitive du bel ouvrage dont le tome I vient de nous être donné.

II. — Au surplus, ce n'est pas seulement dans les écrits qu'il a livrés à la publicité, ni même dans son enseignement oral, qu'Hermite a dépensé les inépuisables ressources de son puissant esprit. Il les a encore largement prodiguées dans une vaste correspondance entretenue, peut-on dire, avec les géomètres du monde entier, qui, jamais en vain, ne s'adressaient à lui pour une consultation. Que de richesses disséminées dans ces innombrables lettres réparties entre les mains d'une foule de destinataires! Toutefois, ce commerce épistolaire a pris une forme suivie avec certains correspondants d'élection dont la nature d'esprit, le genre des travaux étaient particulièrement propres à exciter l'intérêt, nous devrions dire à provoquer l'enthousiasme d'Hermite, car c'est en enthousiaste qu'il suivait le développement de toute idée se rapportant à l'objet de ses propres méditations. Par bonheur, celle de ces correspondances particulières où Hermite a, sans doute, mis le plus du sien, parce que celui avec qui il l'entretenait avait, avec lui, la plus étroite parenté intellec-

tuelle, nous a été conservée, y compris la contre-partie qui n'est pas d'un moindre intérêt. « Le souci des mêmes problèmes, dit M. Picard, et une même tournure d'esprit attiraient Hermite vers Stieltjes, et une vive sympathie s'établit vite entre le jeune débutant et le vétéran de la Science. » Et plus loin : « L'affinité mathématique était complète entre ces deux grands esprits. Une grande partie de la correspondance a un caractère arithmétique; c'est le *vir arithmeticus*, comme aurait dit Jacobi, qu'Hermite affectionnait surtout en Stieltjes. »

Aussi pendant les douze années que durèrent leurs relations, de la fin de 1882 à la fin de 1894 marquée par la mort à jamais regrettable du plus jeune des deux correspondants, l'échange des idées mathématiques s'est-il poursuivi avec une extraordinaire activité entre les deux éminents analystes. Par une heureuse chance, cette correspondance « unique peut-être, comme le fait remarquer M. Picard, dans l'histoire de la Science » s'est trouvée, après la mort de Stieltjes, réunie tout entière, à de bien rares lacunes près, entre les mains d'Hermite qui « pensa qu'il importait à la mémoire de Stieltjes que ce témoignage de son activité et de son génie mathématiques ne disparût point. Il était impossible de publier les lettres de Stieltjes sans publier celles d'Hermite, tant leur collaboration avait été intime; les amis de Stieltjes eurent ici à vaincre quelque résistance d'Hermite, qui finit cependant par se décider à laisser paraître l'ensemble de la correspondance. M. Gauthier-Villars voulut bien se charger de cette publication ».

Telle est la genèse du bel ouvrage en deux volumes, qui est sorti des presses du célèbre éditeur, et pour lequel M. Émile Picard a écrit une Introduction d'où sont extraits les passages mis ci-dessus entre guillemets (1).

Deux anciens collègues de Stieltjes à l'Université de Toulouse, MM. Baillaud et Bourget, acceptèrent la délicate mission de diriger cette publication. Ils « entreprirent tout d'abord la collation des lettres et firent quelques coupures nécessaires. Prenant à cœur la perfection de cette édition, ils reprirent ensuite les calculs, là où il leur parut nécessaire, et ajoutèrent des notes et des éclaircissements. Le manuscrit était presque entièrement prêt à la mort d'Hermite, qui avait suivi le travail de revision. Tous les

(1) Le tome I est enrichi des portraits des deux correspondants à l'époque de leur commerce épistolaire, le tome II d'un portrait d'Hermite jeune qui se trouve aussi en tête de ses Œuvres et d'un fac-similé d'une des lettres de Stieltjes.

amis et les admirateurs d'Hermite et de Stieltjes remercieront MM. Baillaud et Bourget du soin et du dévouement qu'ils ont apportés à cette œuvre..... »

M. Bourget consacre, d'ailleurs, à Stieltjes, en tête du premier volume, une courte mais substantielle Notice qui nous permet de suivre les étapes successives de la carrière trop courte mais si bien remplie du savant mathématicien.

Né à Zwolle le 29 décembre 1846, Stieltjes, fils d'un ingénieur éminent, ancien officier du génie de l'armée hollandaise, eut d'abord quelque velléité de suivre la carrière paternelle. Entré à cet effet en 1873 à l'École Polytechnique de Delft, il ne put, à deux reprises, en 1875 et 1876, surmonter l'aversion qu'il a, de tout temps, manifestée pour les concours et, faute de diplôme, en dépit de sa supériorité, déjà affirmée à cette époque, dut se diriger vers une autre carrière.

Entré en 1877 à l'Observatoire de Leyde, sous les auspices du savant directeur de cet établissement, M. van de Sande Bakhuyzen, il y resta jusqu'à la fin de 1883. Dans l'intervalle, sa véritable vocation, qui était de se confiner dans les études de pures mathématiques, s'était emparée de lui au point de lui rendre impossible tout autre genre d'occupation. Ce stage dans le domaine astronomique ne fut pas toutefois sans influence sur l'évolution de ses facultés; il en conserva le goût et l'aptitude des calculs numériques, ainsi qu'il en fait lui-même la remarque dans une de ses lettres à Hermite (I, p. 250) (1); ce trait, chez lui, était particulièrement frappant; il lui dut son exceptionnelle habileté à jongler avec les transformations analytiques les plus compliquées et aussi sa facilité à entreprendre et à poursuivre des calculs numériques (I, pp. 17 à 21, 256, 257, 272, 273), auxquels il s'astreignait même parfois pour vérifier, *à priori*, certaines relations auxquelles il avait été conduit intuitivement avant d'en rechercher la démonstration (I, p. 175). Il est même curieux, au début de ses relations avec Hermite, de le voir, à cet égard, offrir ses services au grand analyste français pour les vérifications numériques qui pourraient lui être utiles (I, p. 12). Ce don remarquable, que Stieltjes a largement mis à profit au cours de ses belles recherches arithmétiques et algébriques, n'a sans doute pas été étranger aux directions qu'il leur a données.

Mais ce n'est pas tout que de se livrer sans réserve au penchant

(1) Les indications bibliographiques mises entre parenthèses renvoient aux deux volumes de l'ouvrage ici analysé.

naturel de son esprit; il faut songer aussi au côté matériel de la vie, non seulement pour soi mais pour les siens, car Stieltjes avait charge de famille; il songea à demander au professorat les ressources qui lui étaient nécessaires; son mérite devait lui en ouvrir les portes toutes grandes; présenté en première ligne pour la chaire d'analyse de l'Université de Groningue, il n'y fut pas nommé, faute, semble-t-il avoir cru (I, p. 97), de s'être pourvu de grades universitaires. Fort heureusement, Hermite, qui, à cette époque (mars 1884), était déjà en rapports épistolaires suivis avec le jeune géomètre hollandais, se trouva là pour lui faire obtenir réparation de cette criante injustice. Ce n'était certes pas lui qui pouvait en vouloir à son ami de son dédain pour les diplômes : « ... J'ai eu aussi les examens en horreur, lui écrit-il un jour, et j'ai passé une année, étant élève de mathématiques spéciales, à lire à la bibliothèque Sainte-Geneviève les mémoires des collections académiques, les ouvrages d'Euler, etc., au lieu de me mettre en mesure de répondre sur les questions de géométrie, de statique, etc. M. X... m'avait pris en aversion, et j'ai expié par un humiliant échec mes fantaisies d'écolier savant. Plus tard, je n'ai pu prendre sur moi de subir les examens de licence ès-sciences mathématiques lorsque cela eût été bien nécessaire, et ces examens que je vais faire dans quelques jours en revenant à Paris et interrogeant sur mon cours, je les passerais fort mal, car mes leçons faites je les oublie... » (I, p. 129). Il ne faudrait pas toutefois que ces illustres exemples pussent servir à excuser la paresse de certains écoliers que rien ne saurait autoriser à invoquer de telles comparaisons.

Quoi qu'il en soit, Stieltjes, rebuté par la déception qu'il avait eu à essuyer dans son pays, vint à Paris, dans le courant de 1885, prit la nationalité française, se fit, sur les instances d'Hermite (I, p. 165), qui aplanit pour lui toutes les formalités, recevoir docteur en Sorbonne, avec une thèse remarquable sur les séries semi-convergentes, et fut gratifié d'emblée de la chaire d'analyse de l'Université de Toulouse qu'il occupa, avec le plus vif éclat, jusqu'à l'heure à jamais déplorable (31 décembre 1894) où la mort vint le faucher en pleine force de production intellectuelle.

Il eut le temps néanmoins d'achever la partie de ses recherches qui doit être considérée comme la pierre angulaire de son œuvre mathématique, et qui, lorsqu'il en communiqua les premiers résultats à son illustre correspondant, arracha à celui-ci ce cri d'admiration : « Vous êtes un merveilleux géomètre; les

recherches nouvelles sur les fractions continues algébriques que vous me communiquez sont un modèle d'invention et d'élégance; ni Gauss, ni Jacobi ne m'ont jamais causé plus de plaisir... » (II, p. 268).

Que pourrait-on ajouter à une telle opinion émanant d'un tel juge? Stieltjes, au surplus, se rend compte lui-même que c'est là le morceau capital de son œuvre, car, avec la parfaite modestie qui est un des traits dominants de sa nature, voici comment, à son tour, il s'exprime au sujet de cet admirable Mémoire : « ... Après tout, mon travail n'a pas l'importance que vous y attachez; je crois que tout l'intérêt en consiste en ce que j'ai *complètement* traité un sujet un peu limité. Et enfin, c'est bien ce que j'ai fait de mieux et je ne serai plus capable d'un tel effort. C'est aussi un travail qui est bien conforme à mon tempérament; cela dénote une persévérance et une patience très grandes; ce n'est que de cette manière que j'arrive à faire quelque chose (II, p. 414). » Il oublie seulement de dire que cette patience et cette persévérance sont au service de son génie, de ce génie dont, en une occasion, Hermite lui propose de faire échange contre sa paresse (II, p. 319), boutade charmante qui n'honore pas moins l'un que l'autre, unis précisément par la communauté du génie.

Leur parenté intellectuelle n'est d'ailleurs pas douteuse. Avec un oubli touchant de tout ce qui différenciait sa situation à lui, l'un des maîtres les plus hautement réputés de la science mondiale, de celle de son jeune correspondant, encore dans la période ascendante de sa carrière, Hermite aimait lui-même à la faire ressortir. Dès les premiers temps de leur commerce épistolaire qui débute à la fin de 1882, on trouve sous sa plume cette remarque où l'on sent percer la satisfaction qu'il en ressent : « Je vois aussi, Monsieur, que vous êtes un ami de l'Arithmétique, et que vous partagez mon admiration pour Gauss et Eisenstein... » (I, p. 10). Par la suite, alors que Stieltjes est devenu pour lui un véritable ami (c'est dans la lettre du 17 juin 1888 qu'il lui décerne pour la première fois ce titre), il se plaît à revenir sur cette pensée. « Et maintenant, mon cher ami, ne consentirez-vous pas à convenir, à reconnaître que nous ne sommes point sans quelque ressemblance intellectuelle... » (II, p. 63). « ... l'entente me serait, je crois, moins difficile avec vous qu'avec tout autre en raison de notre similitude analytique... » (II, p. 255). « Vous ne nierez point, mon cher ami, qu'il existe une certaine similitude mathématique entre nous... » (II, p. 284). « Vous n'y aviez (à telle démonstration) mis aucune

importance en me la communiquant; mais elle est restée dans mon esprit, et, par l'effet de notre similitude analytique, j'ai suivi la voie que vous avez ouverte et abandonnée » (II, p. 286).

Au reste, la tendance qu'avait Stieltjes à exécuter ce que nous serions tenté d'appeler des *expériences sur les nombres* avant de poursuivre une recherche analytique, était faite pour séduire Hermite qui, volontiers, prêtait aux entités mathématiques un certain degré d'objectivité. « Il existe, si je ne me trompe, a-t-il écrit (1), tout un monde qui est l'ensemble des vérités mathématiques, dans lequel nous n'avons accès que par l'intelligence, comme existe le monde des réalités physiques, l'un et l'autre indépendants de nous, tous deux de création divine, qui ne semblent distincts qu'à cause de la faiblesse de notre esprit, qui ne font, pour une pensée plus puissante, qu'une seule chose et dont la synthèse se révèle partiellement dans cette merveilleuse correspondance entre les mathématiques abstraites d'une part, l'Astronomie et toutes les branches de la Physique de l'autre. » Le reflet de cette manière de voir apparaît dans plusieurs passages de la correspondance : « Je suis, toutefois, bien convaincu qu'aux spéculations les plus abstraites de l'analyse correspondent des réalités qui existent en dehors de nous et parviendront quelque jour à notre connaissance. Je crois même que les efforts des géomètres purs reçoivent, à leur insu, une direction qui les fait tendre vers un tel but, et l'histoire de la Science me paraît prouver qu'une découverte analytique survient au moment nécessaire pour rendre possible chaque nouveau progrès dans l'étude des phénomènes du monde réel qui sont accessibles au calcul » (I, p. 8). « Ma requête a pour origine et pour cause ma tendance à faire résulter les notions analytiques de l'observation des faits de l'analyse, croyant que l'observation est la source féconde de l'invention dans le monde des réalités subjectives, tout comme dans le monde des réalités sensibles... » (I, p. 332). Cette importance attachée par Hermite au rôle de l'observation dans l'élaboration des théories mathématiques le conduisait à voir dans le mathématicien une manière de naturaliste : « ...Je suis maintenant à porter envie et jalousie aux professeurs des universités allemandes qui donnent à leurs élèves, heureux et reconnaissants de les recevoir de leurs mains savantes, des calculs algébriques, dont ils tirent, *en se faisant naturalistes*,

(1) Sur un cahier de notes où M. Picard a eu l'obligeance de nous permettre de prendre directement cette citation.

des observations utiles qui peuvent les conduire au but » (II, p. 107).

Les lettres d'Hermite sont d'ailleurs pleines de remarques piquantes qui nous en apprennent long sur l'état d'âme et les tendances intellectuelles du grand géomètre exclusivement confiné dans le domaine du nombre pur, et ne se résignant qu'en raison de l'inéluctable nécessité à laquelle le condamnent ses fonctions professorales, à porter son attention sur telle ou telle autre partie de la science, eût-elle même le caractère le plus élémentaire : « Il m'a ainsi fallu, écrit-il lors de la reprise d'un de ses cours, rapprendre des choses, comme les lignes de courbure des surfaces, les lignes asymptotiques et bien d'autres du même genre, dont je n'avais plus aucun souci, et qui m'étaient presque complètement sorties de l'esprit (I, p. 139). » Combien amusant, sous la plume de ce mathématicien illustre entre tous, ce cri de désespoir à la veille d'interroger de simples candidats au baccalauréat : « Je ne puis vous dire à quels efforts je suis condamné pour comprendre quelque chose aux épures de la Géométrie descriptive, que je déteste, et à des choses comme la formule des annuités en Arithmétique, etc. » (II, p. 41); « ..... si vous ne me prenez point en compassion quand j'essaye de comprendre quelque chose aux épures de Géométrie descriptive, c'est que vous avez le cœur d'un tigre » (II, p. 66). Il trouvait d'ailleurs de l'écho chez Stieltjes qui lui écrivait à son tour : « Je partage votre aversion pour la Géométrie descriptive, ... Il y a une quinzaine d'années, j'avais une curiosité plus vive pour toutes sortes de choses et à cette époque la Géométrie descriptive avait quelques charmes pour moi, mais actuellement cela ne me dit rien (II, p. 45). »

Ce qui est non moins frappant, c'est la parfaite, l'exquise modestie de l'illustre analyste qui se lit, en quelque sorte, à toutes les pages de sa correspondance. Chez lui, à l'âge où il est parvenu lorsque s'établit cet échange de lettres, l'afflux des idées originales est moins intense, la faculté de s'assimiler les notions nouvelles moins vive que par le passé. Oubliant que lui-même, au début de sa carrière, a étonné le monde mathématique par sa prodigieuse puissance d'invention, qu'il n'a, depuis lors, pour ainsi dire pas cessé d'enrichir la science de découvertes qui compteront parmi les plus belles du XIXe siècle, c'est avec une sincérité d'enthousiasme vraiment touchante qu'il célèbre le génie de son jeune correspondant sans songer un instant à mettre en parallèle avec ce que fait celui-ci ce que lui-même a

fait naguère ; et quand, ainsi que nous le rappelions plus haut, il observe les affinités intellectuelles qui s'affirment entre eux, il semble croire, avec une bonhomie charmante, que tout l'honneur en est pour lui.

En exprimant la profonde admiration que lui inspire l'extraordinaire habileté analytique de Stieltjes, il ne semble pas se douter qu'il a, de son côté, fourni matière à une non moindre admiration de la part du monde mathématique tout entier : « Les résultats auxquels vous êtes parvenu, lui dit-il, ajoutent, s'il est possible, à mon admiration pour votre beau talent en Analyse..... » (I, p. 139). « Je désire que vous trouviez,... l'expression de l'étonnement infini que vos calculs m'ont causé, de la joie que j'ai eue et aussi de mon humiliation profonde d'avoir accordé si peu de confiance à la valeur asymptotique de R (x) » (I, p. 275). « Grâce à vous, les ténèbres de mon esprit commencent à se dissiper au sujet des fonctions de deux variables... » (I, p. 341). « Vous avez le don des démonstrations simples et élégantes... » (I, p. 387). « Votre analyse est un petit chef-d'œuvre ; elle donne, je crois bien, le seul et unique exemple où la méthode de Laplace soit complètement éclairée et complétée » (I, p. 476). « Votre Mémoire sur les polynômes de Legendre est extrêmement beau, je ne puis assez vous dire combien j'ai eu de plaisir à le lire et je ne crois pas qu'il ait jamais été publié rien de plus important » (II, p. 102). « Vous êtes un magicien, vous traitez avec une merveilleuse simplicité des questions extrêmement difficiles et importantes..... » (II, p. 176). « Il faut vous résigner et entendre mes compliments ; je suis tout particulièrement émerveillé de l'introduction de M et M', jamais je n'aurais eu une idée si originale et si heureuse, mais pourquoi dire qu'il est facile d'établir des résultats aussi cachés? » (II, p. 249).

Mais quelle meilleure preuve pourrait-on donner de l'humilité vraiment chrétienne d'Hermite que celle-ci : une des plus belles conquêtes dues à son génie est la démonstration de la transcendance du nombre e, obtenue par une méthode dont M. Painlevé a pu dire qu'elle « sera admirée tant que des hommes existeront capables de comprendre la notion de nombre ». L'immense mérite de cette découverte résidait dans la mise en évidence d'un critérium de transcendance d'une subtilité telle qu'il semblait qu'il dût à jamais échapper à des efforts humains ; mais une fois le résultat connu, il était fatal, comme il arrive toujours en pareil cas, que d'autres chercheurs viendraient qui sauraient découvrir des voies plus courtes pour y parvenir.

Loin de prendre ombrage de ces tentatives, Hermite, frappé de l'élégance de certaines d'entre elles, laisse, sans la moindre amertume, échapper cette exclamation : « ... Comme je me trouve distancé et dépassé sur cette question! » (II. p. 296). Appréciation, au surplus, dans laquelle nul ne saurait le suivre car, pour tous, et quel que soit le mérite des recherches qui sont venues se greffer sur la sienne, à jamais, en ce domaine, il reste le premier conquérant et le maître!

Après nous être laissé entraîner par quelques-unes des réflexions que fait naître le côté intime de ces lettres d'un intérêt si passionnant, nous nous apercevons que nous n'avons même pas abordé ce qui en constitue le fond, c'est-à-dire le côté mathématique. Il y aurait pourtant là matière à une bien belle étude sous une plume, d'ailleurs, plus compétente que la nôtre. Ce qui a été dit plus haut de la tournure d'esprit commune à Hermite et à Stieltjes peut, au surplus, laisser pressentir la nature des sujets sur lesquels ils débattent entre eux. Parmi ceux qui les ont attirés avec une prédilection plus marquée on peut citer la décomposition des nombres en sommes de carrés, à propos de laquelle Hermite adresse à Stieltjes ce compliment, le plus beau assurément, à ses yeux, qu'il puisse décerner : « Je suis moins que vous *vir arithmeticus*, comme dit Jacobi » (I, p. 41); la méthode de quadrature mécanique de Gauss dont Stieltjes montre l'application avec une approximation indéfinie à toute fonction intégrable; l'intégration des équations différentielles par les fractions continues; l'étude de diverses fonctions particulières, introduites par des intégrations, telles que les fonctions sphériques, celles de Lamé et autres; la généralisation du théorème de Cauchy pour le cas de deux variables complexes; les séries semi-convergentes et notamment celle de Stirling étendue à des valeurs imaginaires de la variable (sujet de la thèse de Stieltjes); certaines déterminations d'intégrales au moyen de coupures; la fonction de Riemann; les intégrales elliptiques et hyperelliptiques; les intégrales eulériennes et d'autres s'y rattachant; etc., etc.; enfin, et par dessus tout, la théorie des fractions continues algébriques à laquelle les travaux de Stieljes ont fait faire de si grands progrès.

La plupart des admirables résultats que se communiquent les deux correspondants ont, cela va sans dire, pris, depuis lors, la forme de notes livrées à la publication. Mais ils se trouvent entremêlés d'une prodigieuse quantité de remarques incidentes,

d'élégantes démonstrations de résultats déjà connus (1), d'énoncés de desiderata divers, d'indications de méthodes, d'idées de toute sorte, de l'ensemble desquels des chercheurs avisés trouveraient encore à tirer de belles moissons. Il est vrai que l'évolution qui s'accuse dans l'École mathématique contemporaine semble éloigner les nouveaux venus du point de vue où se plaçaient Hermite et Stieltjes. L'art du calcul fondé sur ces transformations cachées que, seul, un flair avisé permet d'aller découvrir pour s'en servir au bon moment, a perdu à leurs yeux de son prestige. Le raisonnement purement logique l'emporte sur l'usage des déductions étayées d'ingénieux développements analytiques; Hermite en eût ressenti un véritable chagrin; mais, tout comme un autre, le monde des idées est sujet aux changements de mode; on en reviendra à la manière d'Hermite et de Stieltjes, et leur correspondance, ce jour-là, sera la source d'inspiration la plus vive et la plus féconde où pourront venir puiser les nouveaux chercheurs.

M. d'Ocagne.

II

Lehrbuch der Funktionentheorie, par W. F. Osgood. Tome I. Première partie. Un vol. de 306 pages. — Teubner, Leipzig, 1906.

Cet ouvrage est d'importation anglaise. Il s'inspire manifestement des grands traités français, mais il s'en distingue par une méthode d'exposition qu'on ne peut assez louer dans un manuel. D'abord un recours continuel à la signification géométrique des théorèmes, même dans des théories où on ne l'avait jamais introduite, par exemple, dans la théorie de la convergence uniforme, de l'intégration et de la dérivation des séries. En second lieu, l'auteur s'attache à montrer toujours sur un exemple

(1) L'enseignement même élémentaire de l'analyse aurait à tirer grand profit d'une étude attentive de cette correspondance, qui permettrait d'en extraire une foule de jolies choses à l'usage des étudiants. Il y aurait là un travail plein d'intérêt pour un jeune professeur. Signalons notamment, en passant, sous la plume d'Hermite, une élégante formule de trigonométrie (I, p. 347), une démonstration, d'une admirable simplicité, du théorème de Lagrange sur le développement en fraction continue des racines des équations du second degré (II, p. 4), etc.

simple la raison d'être et la nécessité des limitations qu'on s'impose dans l'énoncé des théorèmes. Pour éclairer une théorie, il est souvent plus important de donner un exemple auquel elle ne s'applique pas, que d'en développer un auquel elle s'applique tout naturellement. Enfin, la théorie est assez complète pour constituer un corps de doctrine parfaitement cohérent, elle ne l'est pas au point de dispenser l'élève de réfléchir. Chaque paragraphe est suivi de quatre ou cinq exercices que l'étudiant ne résoudra que s'il a compris et non appris la théorie.

INDEX. — Principes du calcul différentiel et intégral. Fonctions réelles de plusieurs variables. Convergence uniforme. Intégrales curvilignes et domaines. Théorie des ensembles. Fonctions analytiques, lois de différentiation, fonctions élémentaires, transformations linéaires. Lois d'intégration et points singuliers, fonctions rationnelles, développements en séries.

F. W.

III

THEORIE DER EINDEUTIGEN ANALYTISCHEN FUNKTIONEN, par A. GUTZMER. Un vol. in-8° de VI-512 pages. — Teubner, Leipzig, 1906.

Édition allemande de la *Teoria delle funzioni analitiche* de G. Vivanti. La traduction ou plutôt la refonte s'est faite sous la direction de l'auteur de la *Teoria.*

PREMIÈRE PARTIE. — *Éléments de la théorie des ensembles.* — En une quarantaine de pages, claires, précises, sont donnés les principes d'une théorie qui devient l'introduction nécessaire de toute étude des fonctions. Quelques définitions d'abord, puis aussitôt l'étude des ensembles au point de vue de leur puissance (nombre cardinal). Opérations sur ces nombres. Théorèmes. Exemples. Ensembles ordonnés. Nombres ordinaux des ensembles. Opérations. Théorèmes. Nombres transfinis. Application à la théorie des ensembles.

DEUXIÈME PARTIE. — *Théorie générale des fonctions analytiques.* — Signalons l'importance donnée à la valeur moyenne d'une fonction et les heureuses applications qu'on en fait. La fonction analytique se ramène, par définition même, à la série potentielle. L'étude s'en fait donc au point de vue arithmétique.

TROISIÈME PARTIE. — *Compléments à la théorie des fonctions analytiques.* — Ce dernier chapitre constitue la partie vraiment originale de la *Théorie.* Nouvelles recherches sur les fonctions

entières (elles portent sur les relations entre les nombres qu'on rattache à chaque série potentielle : rang, ordre réel, ordre apparent, exposant de convergence, etc.). Généralisation du théorème de Picard. Extension de certaines propriétés des fonctions entières à des fonctions plus générales. Fonctions dont le domaine d'existence est limité. Séries divergentes. Sur la notion de prolongement analytique. Sur la représentation d'une fonction analytique. Relations entre les singularités de deux fonctions analytiques. Sur les points singuliers des fonctions analytiques.

Une bibliographie très étendue et un index analytique terminent le traité.

F. W.

IV

Leçons de Géométrie supérieure, professées en 1905-1906 par M. E. Vessiot. Un vol. in-4°, autographié, de VIII-327 pages. — Lyon, Delaroche. Paris, A. Hermann. 1906.

La classification des mathématiques supérieures est flottante. Ici, sous le nom de « Géométrie supérieure », l'auteur a codifié les questions traitées en général dans les cours d'analyse comme applications géométriques. Je m'empresse d'ajouter qu'en les codifiant il les a fondues dans une théorie bien homogène. Elles s'y développent en un exposé méthodique et original. Nous rencontrons en plus, un chapitre spécial sur les transformations dualistiques, en particulier celle de Sophus Lie, et un chapitre sur les congruences de sphères.

La clarté, la méthode de cet ouvrage le feront apprécier des étudiants désireux de s'initier à la Géométrie supérieure. Ils y trouveront, outre une doctrine sûre, la marque d'un esprit attentif qui ne laisse dans l'ombre aucun détail et s'ingénie à en montrer la portée par des interprétations intéressantes, qualité précieuse de leçons qui visent à enseigner l'art d'*étudier* plus que celui d'*apprendre*.

Table. — Courbes gauches — surfaces développables. Courbes tracées sur une surface — leurs éléments fondamentaux. Les six invariants — la courbure totale. Surfaces réglées. Congruences de normales. Congruences de droites et correspondances entre deux surfaces. Complexes de droites. Complexes linéaires. Transformations dualistiques — transformation de Sophus Lie. Systèmes triples orthogonaux. Congruences de sphères — systèmes cycliques. Exercices.

F. W.

V

Introduction a la théorie des nombres transcendants et des propriétés arithmétiques des fonctions, par Edmond Maillet, ingénieur des Ponts et Chaussées, répétiteur à l'École Polytechnique. Un vol. in-8° de 275 pages. Paris, Gauthier-Villars, 1906.

La théorie des nombres transcendants, jadis entamée par Liouville, s'est surtout développée depuis les célèbres travaux d'Hermite. Elle est encore en dehors du cycle normal des études mathématiques et peut, d'autre part, offrir nombre de sujets d'étude intéressants, et difficiles d'ailleurs, à de nouveaux chercheurs. Or, le principal obstacle pour ceux-ci est de s'initier aux travaux déjà produits sur le sujet et d'en extraire ce qu'ils contiennent de vraiment essentiel. Un des mathématiciens à qui, dans la période récente, l'on doit en ce domaine les plus notables contributions, M. Maillet, s'est imposé pour eux cette tâche. En un volume, d'étendue moyenne, il fait un exposé didactique très clair et très substantiel de la théorie au point où elle est arrivée jusqu'à ce jour, délimitant avec précision le terrain acquis, signalant les voies dans lesquelles il y aurait lieu de s'engager pour de nouvelles explorations; et ce n'est pas en vain que, dans son Avis aux lecteurs, l'auteur fait cette déclaration : « J'espère avoir pu, en ne donnant cependant que des propriétés en grande partie nouvelles dans la forme ou dans le fond, rendre mon travail presque entièrement accessible aux étudiants ». A la façon dont il développe ce programme on reconnaît d'ailleurs que l'auteur est là sur son terrain, ce qui l'a mis à même de fondre en un tout bien homogène tant ses travaux personnels que ceux des géomètres qui, avant lui ou en même temps que lui, ont pris part à l'édification de la théorie nouvelle.

M. O.

VI

Arithmétique graphique, par Gabriel Arnoux, ancien officier de marine. Introduction à l'étude des fonctions arithmétiques. Un vol. in-8° de xx-225 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1906.

S'il est un mérite qu'on ne saurait contester aux ouvrages de M. G. Arnoux, c'est celui d'une puissante originalité. Écrits sous l'empire de certaines préoccupations d'ordre philosophique, que

traduit la mention « Essais de psychologie et de métaphysique positives » placée au-dessus du titre, ils sont fondés sur une méthode qui appartient bien en propre à l'auteur et à laquelle le terme de « graphique » ne s'applique, vu nos habitudes de langage, qu'avec un sens assez particulier. Ce ne sont pas, en effet, à proprement parler, des constructions géométriques qui constituent l'essence de cette méthode, mais bien l'emploi de certains systèmes discontinus (points équidistants ou cases égales juxtaposées) pour la représentation des résidus des nombres entiers par rapport à un certain module. Quoi qu'il en soit, ce mode de représentation, déjà utilisé par M. Arnoux dans un précédent ouvrage paru en 1894 avec le même titre et le sous-titre : *Les espaces arithmétiques hypermagiques*, est entre ses mains d'une remarquable fécondité, et l'on est tout surpris de l'extrême simplicité avec laquelle (une fois acquise, par un peu d'exercice, la terminologie assez spéciale de l'auteur) il conduit à de nombreuses propositions, connues ou nouvelles, de la théorie des nombres, dont l'accès, par les voies de l'algorithmie ordinaire, semble bien plus difficile. Le nouvel essai de l'auteur est un exposé, fait à son point de vue très personnel, de la théorie arithmétique des formes, dans lequel il fait jouer un rôle fondamental à la notion des imaginaires arithmétiques, empruntée à Galois. La préface n'est pas moins curieuse que le corps même du livre, en ce qu'elle nous renseigne de façon détaillée sur les procédés d'invention de l'auteur qui semble avant tout se complaire dans l'étude de sa propre psychologie. Ajoutons qu'il déclare être redevable à M. Laisant de la mise au point de ses idées en vue de leur présentation au public.

M. O.

VII

N.-H. ABEL, par CH. LUCAS DE PESLOÜAN. Un vol. in-8° de XIII-168 pages, orné d'un portrait. — Paris, Gauthier-Villars, 1906.

Le livre de M. de Pesloüan, qui procède à la fois de l'étude psychologique et du résumé mathématique, constitue un essai original ; son but est d'analyser le développement des idées d'un grand géomètre à travers les vicissitudes de sa vie privée, alors que ce genre d'analyse semble avoir été plutôt appliqué jusqu'ici aux grands écrivains ou aux grands artistes dont, *à priori*, l'œuvre semble offrir un caractère plus humain. Pour une

telle tentative, le modèle est d'ailleurs heureusement choisi. En sa courte et douloureuse existence, Abel fut, pour la science des nombres, un des plus puissants novateurs de son siècle; étudier les circonstances de milieu qui purent influer sur l'évolution de sa pensée, déterminer les répercussions qu'eut tout d'abord dans les cercles scientifiques contemporains l'écho de cette pensée, était une tâche assurément ardue, mais pleine d'attrait, par laquelle l'auteur s'est laissé tenter. Le petit volume où il a consigné le fruit de ses recherches et de ses méditations ne saurait, cela va sans dire, prétendre à épuiser un tel sujet, mais l'esquisse, fort bien venue, qu'il nous en donne ne manquera pas d'exciter un vif intérêt non seulement chez les mathématiciens, mais chez tous ceux qu'attire l'histoire de la science envisagée du point de vue philosophique.

On est d'ailleurs profondément surpris, quand on songe à la place qu'occupe, dans la science moderne, l'illustre Norvégien, en constatant combien peu, nous ne dirons pas d'enthousiasme, mais simplement d'attention souleva tout d'abord la publication de ses immortelles découvertes, même parmi ceux qui semblaient être le plus qualifiés pour en apprécier l'exceptionnelle importance. Comme Hermite chez Jacobi, et comme Stieltjes chez Hermite lui-même, Abel n'a pas rencontré, au seuil de sa trop courte carrière, la haute personnalité scientifique qui, frappée par la précocité de son génie, se fût attachée à le mettre en lumière aux yeux du public, en s'appliquant à faire sentir de prime abord la nouveauté et la profondeur des idées que ce génie avait fait éclore. C'est par la seule force qu'elles portaient en soi que ces idées se sont imposées au monde mathématique. Une intervention tutélaire eût pu changer la destinée d'Abel et la rendre moins âpre; elle n'aurait toutefois rien su ajouter à la gloire impérissable dont sa mémoire reste à jamais environnée.

M. O.

VIII

Bases physiques de la Musique, par M. H. Bouasse, professeur à la Faculté des sciences de Toulouse. Un vol. in-8°, de la Collection *Scientia*, de 111 pages. — Paris, Gauthier-Villars, 1906.

« Le lecteur, dit M. Bouasse, trouvera, dans l'ouvrage que je lui présente, une étude des *Bases physiques de la Musique* suivant les principes d'Helmholtz. » Si l'on se souvient que

l'œuvre classique du savant allemand, à laquelle se réfère M. Bouasse, a pour titre *Théorie physiologique de la Musique* et que, dans son introduction, il a insisté tout particulièrement sur la distinction de l'acoustique physique et de l'acoustique physiologique, on éprouvera d'abord un certain étonnement; mais M. Bouasse a pris soin, au début du chapitre III sur la résonance et la théorie de l'oreille, de bien préciser la différence des points de vue.

« Nous exposons, dit-il, dans ce Chapitre la théorie physique de l'oreille. Il est important de fixer le point de vue d'où nous nous plaçons. *Nous ne faisons pas de physiologie;* nous disons que tout se passe comme si l'oreille avait telle constitution mécanique. C'est aux physiologistes à chercher le mécanisme réel : mais, de ce qu'ils ne le trouvent pas ou ne sont pas d'accord, *il ne résulte rien contre nos propositions.* Il est fort inutile d'objecter que les fibres de Corti, par exemple, ne peuvent jouer tel ou tel rôle; *c'est complètement indifférent au physicien.* Si les fibres de Corti n'interviennent pas, quelque autre organe intervient qu'il n'a pas à préciser.

» Helmholtz précise, il est vrai, parce qu'il est à la fois physicien et physiologiste, nous laissons de côté ce qu'il dit. Séparant ainsi des questions très différentes, nous arrivons à asseoir un édifice moins grand d'une manière plus solide (1). »

N'entendez-vous pas ici comme un écho transposé de la pensée de M. Duhem, quand il condamne, en physique, les hypothèses explicatives, qui, dit-il, sont affaire de métaphysique, non de physique? Quoi qu'il en soit, on saisit l'idée inspiratrice de M. Bouasse, et elle suffit à donner un caractère d'originalité à une œuvre qui ne se donne guère que comme une coopération à la vulgarisation de la doctrine d'Helmholtz.

Il ne faudrait pas cependant forcer l'assimilation entre les points de vue de M. Bouasse et de M. Duhem. Tandis que celui-ci proscrit non seulement toute recherche de l'hypothèse explicative, mais entend qu'il n'y soit fait aucune allusion en physique, M. Bouasse se préoccupe de la possibilité de l'hypothèse physiologique, en ce sens qu'il proscrit toute conception qui rendrait impossible une telle explication, parce qu'*à priori* il croit à cette explication et qu'il postule même au besoin un organe susceptible de jouer tel ou tel rôle physique. C'est ce que fait ressortir ce qu'il dit des sons résultants.

(1) Page 24.

Après avoir donné une théorie de ces sons fondée sur l'équation générale du mouvement d'un corps dissymétrique, comme l'est le tympan, sous l'excitation de deux sons simples de hauteurs différentes, il s'exprime ainsi : « On remarquera que la hauteur du premier son différentiel est égale au nombre par seconde des battements des sons primaires (différence des hauteurs). On l'a quelquefois considéré comme *un son de battements*. Si la théorie que j'expose est exacte, cette manière de voir est *insoutenable*. Le son résultant $p-q$ agit principalement sur les résonateurs auriculaires accordés à la hauteur $p-q$, tandis que les battements produits par l'interférence des sons *suffisamment voisins* p et q agissent simultanément sur les résonateurs accordés sur les sons voisins des sons p et q (1). »

On voit que, si M. Bouasse ne cherche pas à découvrir les résonateurs, il ne se gêne pas pour en postuler l'existence. En laissant de côté leur recherche, il entend donner une nouvelle vie aux conceptions essentielles d'Helmholtz, injustement dépréciées par le discrédit dans lequel sont tombées telle et telle de ses explications physiologiques.

Il nous semble que parfois sa défense des idées d'Helmholtz, en ce qui concerne des questions de pure physique, est un peu trop sommaire. On sait, par exemple, combien sa théorie de la formation des voyelles a été vivement attaquée. Or, M. Bouasse se borne à opposer à toutes ces critiques la note suivante : « Une expérience très simple prouve que les voyelles sont associées à des sons de hauteurs *absolues* déterminées. Quand on fait tourner un phonographe avec une vitesse qui n'est pas convenable, les paroles deviennent incompréhensibles, preuve que les voyelles ne sont pas caractérisées par des *accords*, mais bien par des sons de *hauteurs fixes* (2). »

Cette réponse serait péremptoire si les contradicteurs d'Helmholtz soutenaient que les voyelles constituent des timbres proprement dits, correspondant à certains harmoniques déterminés, que conserverait en effet la reproduction phonographique plus ou moins rapide. Mais on lui oppose bien d'autres théories. Son plus virulent critique, le Dr Guillemin, prétend expliquer les voyelles au moyen des cyclones de Lootens; le Dr Marage, qui a montré qu'on peut supprimer les cyclones sans altérer les voyelles, a trouvé, comme Hermann, que la vocable n'est pas

(1) Pages 48 et 49.
(2) Page 45.

fixe pour une même voyelle, mais sans en faire aucunement un harmonique déterminé du son fondamental (1). On voit donc que la note de M. Bouasse est beaucoup trop sommaire.

Dans la théorie de la gamme il suit sensiblement les idées d'Helmholtz; mais nous devons signaler sa critique très vive de la gamme de Pythagore que MM. Cornu et Mercadier, on le sait, considèrent comme la gamme mélodique parfaite, celle de Ptolémée ou de Zarlin étant la gamme harmonique (2).

Mais il est un point que M. Bouasse n'a pas discuté, bien qu'il l'ait en réalité signalé. Si l'on cherche à constituer une gamme en prenant les harmoniques successifs de la tonique et en les ramenant dans l'intervalle d'une octave, on obtient la gamme suivante, qui est précisément celle du cor en *ut*, comme le dit l'auteur lui-même (3) :

ut	*ré*	*mi*	*fa*# (4)	*sol*	*la*	*si*♭	*si*	*ut*
8	9	10	11	12	13	14	15	16

Cette gamme, on s'en souvient, est considérée par M. l'abbé de Lescluze comme la véritable gamme naturelle, et il semble que M. Bouasse eût bien fait d'expliquer pour quel motif il n'en parlait qu'en passant, alors qu'elle apparaît bien comme la plus naturelle des gammes.

A titre de détail pratique intéressant, signalons que M. Bouasse fait souvent usage du *savart*, qu'Helmholtz, sauf erreur, n'utilise pas. On sait qu'on désigne par ce terme le logarithme d'un intervalle ou rapport des nombres de vibrations qui leur correspondent. L'intérêt de cet emploi est que le *savart*, pris comme mesure d'un intervalle, rétablit l'accord entre les physiciens et les musiciens, pour lesquels les intervalles musicaux sont des grandeurs additives. Ce système de mesure permet d'ailleurs de préciser la grandeur des intervalles et de se faire une idée concrète de leur ordre de grandeur, ce qui est malaisé avec les fractions.

Ce compte rendu du petit livre de M. Bouasse paraîtra bien

(1) La sixième et la huitième *Années psychologiques* contiennent deux articles intéressants du Dr Marage. Le premier donne notamment l'exposé de sa propre théorie des voyelles.

(2) Voir, pages 97 et suiv., la discussion de cette question.

(3) Page 23.

(4) En réalité, ce *fa* est intermédiaire entre le *fa* naturel et le *fa* # de la gamme de Ptolémée, mais plus voisin du *fa* #. Il est à peu près à égale distance du *fa* naturel et du *fa* # de la gamme tempérée.

décousu ; cela tient à ce que, au lieu d'en donner un sommaire résumé qui n'eût été qu'une nomenclature de questions tout à fait classiques, nous avons préféré nous arrêter un peu sur quelques points qui nous ont paru appeler la discussion. Mais nous tenons à répéter que, dans son ensemble, ce livre est vraiment excellent.

G. Lechalas.

IX

P. Enrico Wasmann, S. J. — La Biologia moderna e la Teoria dell' Evoluzione. Versione italica sulla 2ª edizione tedesca con un capitolo d'introduzione, note ed aggiunte di Fr. Agostino Gemelli, dei Minori, dottore in medicina e chirurgia, professore aggregato onorario di istologia. Un vol. in-8° de CVII-466 pages, 42 figures dans le texte et 4 planches séparées. — Firenze, Libreria editrice fiorentina, 1906.

Le livre récent du P. Wasmann sur *La Biologie moderne et la Théorie de l'évolution* a conquis déjà une assez belle notoriété pour qu'il soit superflu d'en faire l'éloge devant les lecteurs de la Revue des Questions scientifiques : il leur fut du reste présenté, il y a quelques mois, dans un article signé par une plume des plus compétentes. Nous nous bornerons donc à rappeler les principaux chapitres de ce livre, auquel la haute valeur scientifique de son auteur donne une autorité si spéciale :

Chap. I. Notion et premier développement de la biologie.
Chap. II. Le développement de la morphologie moderne et de la microscopie.
Chap. III. Les progrès de la cytologie au cours des dernières années.
Chap. IV. Un coup d'œil sur la vie de la cellule.
Chap. V. Les lois de la division cellulaire.
Chap. VI. La division cellulaire dans ses rapports avec la fécondation et l'hérédité.
Chap. VII. La cellule et la génération spontanée.
Chap. VIII. Considérations sur la doctrine de l'évolution.
Chap. IX. Théorie de l'immutabilité ou théorie de la descendance?
Chap. X. Sur l'application à l'homme de la théorie de la descendance.
Chap. XI. Conclusions.

Un ancien professeur d'histologie de l'Université italienne, actuellement le R. P. Agostino Gemelli, de l'ordre des Frères Mineurs, estima qu'il ne serait pas sans profit pour la bonne cause de mettre plus à la portée de ses compatriotes le savant ouvrage du P. Wasmann. Ainsi naquit la traduction italienne, que nous nous faisons un plaisir de signaler ici.

Nul ne sera tenté, dans le cas présent, de répéter le dicton : *traduttore traditore*, car le Dr Gemelli, auteur de travaux scientifiques très estimés, était à même autant que personne de saisir jusqu'à la nuance la pensée du P. Wasmann et de l'exprimer en une langue ferme et précise.

Le R. P. Gemelli n'a pas cru devoir restreindre son rôle à celui d'un traducteur consciencieux. Dans une introduction importante — une centaine de pages — il expose ses vues personnelles sur le « problème de l'origine des espèces et la théorie de l'évolution » et se rallie — comme tant de naturalistes actuels et comme le P. Wasmann lui-même — à l'hypothèse du polyphylétisme, à l'exclusion aussi bien du fixisme absolu que de l'évolutionnisme unitaire. Telle nous paraît, à nous aussi, la position que suggèrent aujourd'hui les faits expérimentaux. Cette position est-elle plus favorable à la foi religieuse que ne le serait un évolutionnisme plus radical, borné, s'entend, à la morphologie? Nous avouons que ce choix nous paraît intéresser beaucoup plus la science que la religion : en tant que catholique, l'alternative nous laisse parfaitement indifférent. Si l'on ajoute à cela que beaucoup de savants — fort indépendants du « préjugé » religieux — se croient obligés d'adopter le point de vue polygéniste, on trouvera sans doute bien légère l'appréciation suivante, échappée, dans la Revue Scientifique, à un critique d'ordinaire plus judicieux : « Que la religion — écrit-il à propos d'une brochure du P. Gemelli (1) — s'accommode comme elle le peut des données de la science ou les repousse, peu nous en chaut. Le grave, c'est qu'elle tend, plus encore que les diverses métaphysiques opposées les unes aux autres, à dénaturer les faits pour les faire « cadrer ». Et l'origine polyphylétique paraît un de ces procédés dangereux et illégitimes » (Rev. Sc., 17 nov. 1906, p. 639).

Outre l'introduction, le R. P. Gemelli a ajouté au livre du P. Wasmann quelques passages complémentaires et quantité

(1) Dott. Fr. Agost. Gemelli, *Il problema dell' origine delle specie e la teoria dell' evoluzione*. Firenze, 1905; in-8°, 106 pages.

de notes érudites et copieuses. Volontiers, par rapport à ces dernières, nous lui ferions chicane d'une certaine exubérance.

Puisse le R. P. Gemelli, en poursuivant sa vaillante carrière d'apologétiste, ramener à la sérénité de la foi beaucoup de ces chrétiens mal informés que le moindre progrès scientifique effarouche !

Dr J. M., S. J.

X

Bilan géographique de l'année 1906, par F. Alexis-M. G. Fascicule in-8° de 40 pages, texte compact. — Liége, imprimerie Dessain.

Dans cette publication annuelle, modeste en apparence, mais bourrée de faits d'actualité et d'une utilité prouvée par son succès même, l'auteur s'adresse particulièrement à la jeunesse des pensionnats, collèges et autres établissements d'enseignement moyen, dont beaucoup se servent de ses ouvrages classiques de géographie, connus depuis de longues années.

En la préface de l'une des éditions de son *Cours supérieur*, le F. Alexis explique le but de son *Bilan annuel*, but qui est surtout de donner aux maîtres et aux élèves le moyen de rectifier, en les mettant à jour, les données de leurs manuels de géographie, par l'exposé succinct des découvertes récentes, des mouvements politiques, commerciaux et coloniaux qui, se succédant avec tant de rapidité à notre époque, rendent inexact parfois en bien des points le texte de l'édition qu'ils ont en main, quoique parue depuis un, deux ou trois ans au plus.

Aussi, dans un bon nombre d'établissements scolaires, les élèves s'empressent-ils de souscrire, chaque année, à ce périodique qui paraît vers le nouvel an : son prix minime, joint à son utilité pratique, en explique la grande diffusion.

D'ailleurs, le *Bilan* n'est pas confiné dans les seules écoles ; le grand public le connaît par des extraits plus ou moins longs reproduits par la presse quotidienne.

On nous saura gré de donner ici aux lecteurs de la Revue des Questions scientifiques une analyse rapide du *Bilan* de 1906, tout au moins des principaux faits de l'année, choisis parmi les centaines de ceux contenus dans la brochure.

Asie. — L'auteur prend comme point de départ le continent asiatique, où il nous fait pénétrer par l'*Asie russe*, rappelant les

événements de la guerre de 1904-1905, où le Transsibérien avait fort à faire pour le transport des troupes en Mandchourie. Le calme dont cette contrée jouit cette année permet au gouvernement russe, devenu circonspect, de reprendre le projet du chemin de fer qui, en longeant l'Amour, suppléera au besoin à celui qui traverse la Mandchourie chinoise pour se rendre à Vladivostok. Il est d'autres lignes — telles que celle d'Orenbourg à Taschkend, actuellement achevée — qui affirment les visées moscovites vers l'Inde et les mers du Sud.

Passant au *Japon*, l'auteur fait un tableau sommaire de cette puissance de premier ordre, formée en un tiers de siècle, au point de tenir tête en ce moment aux États-Unis eux-mêmes dans la question scolaire de San Francisco. Par leurs forces navales et militaires, plus encore par le développement de l'industrie, du commerce et même de l'enseignement technique, les Japonais se posent en maîtres dans l'Extrême-Orient, où ils deviennent les mentors des Coréens, aussi bien que des Chinois, des Indo-Chinois, voire des Hindous, qui, sous leur impulsion, vont peut-être s'organiser dans l'ordre économique en rivaux redoutables pour les Européens.

La *Chine*, en effet, se réveille, elle aussi, d'un long assoupissement, et déjà un décret impérial du 1er septembre 1906 établit « tout un système de réformes législatives, administratives, financières, militaires et instructives, à l'instar du Japon et de l'Europe ».

Que sera dans vingt ou trente ans la Chine, dotée de chemins de fer, d'armées, de marines, d'écoles, d'industries à la moderne ? Déjà aujourd'hui les puissances européennes n'oseraient plus spéculer sur le partage de l'empire « du Milieu », comme elles le faisaient avant la leçon donnée aux Russes en 1904-1905. — Un autre symptôme est celui du mouvement de conversion au catholicisme, tout au moins des marques de respect accordées par les gouvernements chinois et japonais aux représentants du Pape et aux évêques, et la liberté donnée à la propagande chrétienne dans ces milieux païens, à l'envers de ce qui se passe en Europe. « En somme, dit un missionnaire, le « Céleste » est d'une race forte et travailleuse, et s'il est âpre au gain, c'est avant tout pour nourrir sa famille et ses vieux parents. Il est né apôtre ; aussi, une fois chrétien, il voudrait convertir tous ses amis pour faire nombre. Quand notre sainte religion aura réformé ce peuple, il sera le premier du monde ; car, quoique des plus anciens, il ne s'est pas abâtardi. Qui sait si Dieu ne le veut pas pour régénérer la vieille Europe ? »

Après ces considérations générales et d'autres analogues, le *Bilan* expose nombre de faits particuliers, locaux, tels que l'achèvement du chemin de fer de Pékin à Hankow, sous la direction de l'ingénieur belge Jean Jadot; la mission officielle en Belgique, confiée à cet autre compatriote, M. Paul Splingaerd; la valeur progressive du commerce du Japon, de la Chine, de l'Indo-Chine française, du Siam, de l'Inde, etc.

Pour l'Empire *indo-anglais*, le traité du 23 avril 1906, conséquence de la prise de Lhassa en 1904, stipule le contrôle du gouvernement britannique sur l'administration du Tibet, à l'éviction de toute compétition russe.

On signale : pour la *Perse*, la constitution accordée par le Shah mourant à ses sujets qui, s'ils savent éviter les abus, se verront sous peu régis selon les formes européennes; — pour l'*Arabie,* le conflit de frontière d'Akabah, réglé à la satisfaction de l'Égypte et de l'Angleterre; de plus, les embarras des Turcs dans l'Yémen, qui veut s'émanciper; — pour la *Turquie d'Asie*, la continuation des massacres des Arméniens et, enfin, l'organisation des missions catholiques en Palestine, « berceau du christianisme et de la civilisation moderne ».

Océanie. — Suivent quelques pages sur l'*Océanie,* concernant surtout l'élevage du mouton et la production de l'or dans la « Westralie » ou Australie occidentale, et les affaires anglaises de Bornéo, hollandaises de Java, américaines des Philippines, françaises de Taïti et aussi des Nouvelles-Hébrides, où un nouveau condominium est réglé entre la France et l'Angleterre.

Afrique. — Le *Bilan* nous conduit au Maroc avec l'exposé des préoccupations politiques et le traité d'Algéciras, dont les clauses sont résumées en six articles. C'est là un document international à conserver et à méditer. L'Allemagne a obtenu un semblant de satisfaction dans l'ouverture même de ce congrès, exigé par elle; mais, par contre, elle a dû reconnaître la prépondérance de la France pour l'action qu'elle est appelée à exercer, de concert avec l'Espagne, dans la police intérieure de cet « empire malade », où l'anarchie n'a pas dit son dernier mot.

L'*Algérie*, comme toute l'Afrique musulmane, ressent et redoute les secousses du réveil de l'islam fanatique. — La *Tunisie* a vu l'investiture d'un nouveau bey, faite sans grande cérémonie par un vulgaire fonctionnaire français. — En *Tripolitaine*, le pouvoir turc reprend vigueur en face des empiétements français dans l'hinterland, vers le lac Tchad.

Dans l'*Afrique occidentale française*, un progrès est constaté pour la création de voies ferrées au *Sénégal*, en *Guinée*, en *Côte d'Ivoire*, au *Dahomey*, au *Soudan*. Il en est de même d'ailleurs dans les enclaves anglaises, surtout dans le *Sierra Leone*, la *Côte d'Or*, la *Nigérie* : partout c'est à qui joindra le plus vite, par « rail », la côte avec le cours moyen du Niger, le grand fleuve soudanien.

Pour le *Congo belge*, le *Bilan* nous rassure au sujet des prétendues réclamations des protestants anglais et des réformes de l'organisation administrative. Une convention avec l'État accorde, en principe, satisfaction aux missionnaires catholiques, qui, « désormais, pourront notamment acquérir à titre gratuit et perpétuel, sans toutefois pouvoir les aliéner », les terrains nécessaires pour l'établissement de leurs résidences et surtout des *fermes-chapelles* qui, au nombre de plusieurs centaines déjà, sont des foyers d'évangélisation et de civilisation.

L'auteur fait ici un éloquent appel à l'initiative des catholiques belges pour la multiplication de ces fermes-chapelles si intéressantes, dont les frais s'élevant à 2000 francs pour chacune sont payés soit par quelque famille riche, soit par des paroisses, des séminaires, collèges, pensionnats, etc. « Pourquoi, dit-il, n'engagerait-on pas tout établissement d'éducation chrétienne de Belgique à suivre de si beaux exemples? Car tout Belge peut et doit ainsi devenir apôtre au milieu de ces pauvres enfants congolais, que la Providence nous a donnés comme frères en Jésus-Christ! Ne serait-il pas intéressant, dans quelques années, de pouvoir dresser une carte de la « Belgique congolaise », où figureraient les noms de mille ou deux mille localités belges, transportés en Afrique, avec les noms des fondateurs ? »

Sans nous arrêter au *Cameroun* allemand, au *Congo français*, ni dans l'*Angola* portugais, ni dans le *Sud-Ouest* africain allemand, où la guerre continue contre les Herreros, pénétrons dans la vaste confédération de l'*Afrique australe britannique*. Le *Transvaal*, qui vient d'être pourvu d'une administration autonome, avec représentation nationale, s'est signalé en 1905 par une production de 152 000 kilogrammes d'or valant 520 millions de francs et donnant aux actionnaires un dividende de 125 millions! Chiffres énormes, dépassant de beaucoup les résultats des meilleures années antérieures. A signaler aussi le fameux chemin de fer du *Cap au Caire*, considéré longtemps comme un rêve chimérique de Cécil Rhodes, le « Napoléon du Cap », et qui, de fait, est déjà construit sur la moitié des 9000 kilomètres qui

s'étendent entre ces deux extrémités du continent africain. Bien plus, cette artère centrale projette ou projettera des embranchements vers les côtes orientales, à travers le *Mozambique* portugais, le *Zanguebar* allemand et anglais, l'*Abyssinie* et le *Soudan anglo-égyptien*.

Partout l'activité coloniale se révèle par des progrès continus, comme le constate également en *Égypte* le trafic du canal de Suez s'élevant à plus de 18 millions de tonnes, dont 64 p. c. pour le pavillon anglais.

Amérique. — Ici le *Bilan* relève la navigation du « passage du Nord-Ouest », enfin effectuée par le capitaine Amundsen sur sa « coquille de noix », le *Goja*. Ce petit bateau de 47 tonnes, monté par huit hommes, a mis trois ans pour aller de la mer de Baffin au détroit de Béring, en longeant constamment les côtes boréales du Canada et relevant la position du pôle magnétique. En somme, à la Norvège, avec Amundsen, et à la Suède, avec Nordenskiold, revient l'honneur d'avoir accompli les deux passages du N.-O. et du N.-E., tant cherchés par les Anglais depuis deux siècles. Ces deux « passages » restent, il est vrai, impraticables à la navigation régulière, mais la science en fait son profit.

Du *Canada* passons aux *États-Unis*, où, faute de questions politiques, les questions économiques sont permanentes. A signaler toutefois l'agrandissement de l'État d'Arizona, par l'annexion du territoire du Nouveau Mexique, et celui de l'Oklahoma, accru du vaste territoire indien, au détriment des malheureux indigènes, qui perdent ainsi leur domaine de chasse réservée.

Mais le point curieux est celui des « trusts » dont l'exercice amène des conséquences parfois monstrueuses. De là le scandale des « conserves alimentaires » et l'empoisonnement en masse des clients, dont la répercussion s'est fait sentir jusque chez nous. De là aussi la citation en justice du « roi du pétrole », Rockefeller, qui, d'après l'expression yankee, « vaut trois milliards » : il jouit d'un revenu journalier d'un million !

Sont également passés en revue : le trust de la « Standart Oil », qui produit annuellement 23 millions de tonnes d'huile minérale; celui des « Compagnies d'assurances », qui a encaissé près de trois milliards en 1904 ; le trust des télégraphes, qui compte 25 000 bureaux, et celui des téléphones, constitué au capital de deux milliards ! Ce sont là des trusts bien américains, où tout se fait « en grand ».

« En grand » aussi s'est accomplie, par le séisme du 18 avril, la destruction de San Francisco, où les pertes sont évaluées à deux milliards de francs. « En grand », la mainmise politique ou financière des États-Unis sur l'île de *Cuba*, les républiques de *Saint-Domingue* et de *Haïti*, si souvent en révolution. Par contre, le canal de *Panama* a de la peine à se réaliser, car on n'est pas d'accord sur le système d'un canal avec ou sans écluses.

Passons rapidement sur les misères intestines et chroniques du *Vénézuéla*, de la *Colombie*, de l'*Ecuador*, des deux *Pérous*. Le *Chili* fut attristé par la destruction de Valparaiso et de localités voisines, due à un tremblement de terre, comme celle de San Francisco. — Par contre, l'*Argentine*, l'*Uruguay*, le *Paraguay*, le *Brésil* marchent dans les voies économiques, ce qui est satisfaisant; mais le Congrès *pan-américain*, tenu à Rio-de-Janeiro sous la présidence du délégué de Roosevelt, fait pressentir la soumission de plus en plus accentuée des anciens États espagnols de l'Amérique centrale et méridionale à la prépondérance anglo-saxonne des États-Unis. Roosevelt ou l'un de ses successeurs serait-il un jour proclamé « empereur de toutes les Amériques » que la chose n'étonnerait pas. Ce changement de république démocratique en empire absolu s'est vu aussi bien dans l'histoire romaine que dans l'histoire récente de la France napoléonienne.

Europe. — Pour ne pas trop allonger ce compte rendu, nous serons bref sur le chapitre des vingt États de l'Europe, où les faits néanmoins abondent.

En *France*, c'est la politique de division, de séparation de l'Église et de l'État, d'oppression exercée par un gouvernement antireligieux et antipatriotique. C'est, comme conséquence, l'affaiblissement de ce malheureux pays sous le rapport moral, industriel, commercial, et son effacement eu égard à la prospérité des nations voisines ou concurrentes.

En *Angleterre*, on remarque la question du tunnel sous le Pas de Calais, le développement de la marine militaire et marchande, le rapprochement anglo-russe aussi bien qu'anglo-français; — en *Belgique*, la question de la reprise du Congo, votée en principe ; la naissance d'une petite princesse, les concessions minières du Limbourg, la perte du navire-école, les congrès ; — en *Hollande*, la Conférence de la paix et la prospérité de l'industrie de la pêche.

En *Allemagne*, on signale la question du Brunswick; celle des colonies, qui a amené la dissolution des Chambres, et celle de la

langue allemande, imposée abusivement aux Polonais; — en *Autriche-Hongrie*, l'apaisement relatif du conflit des races; — en *Suisse,* l'achèvement du tunnel du Simplon et la progression de l'emploi de la « houille blanche ».

En *Danemark*, notons la mort du vieux roi Christian IX, remplacé par son fils Frédéric VIII; — en *Norvège,* le sacre du roi Haakon VII à Trondheim, et sa visite au roi de *Suède* Oscar II, marquant ainsi la réconciliation des deux pays politiquement séparés l'année précédente.

La malheureuse *Russie*, tant affaiblie par la guerre japonaise, se débat dans des troubles révolutionnaires et les essais d'un gouvernement représentatif, pour lequel un peuple ignorant montre peu d'aptitude; d'où la dissolution de la première Douma ou assemblée législative, après trois mois de session.

Signalons : pour l'*Espagne,* le mariage du jeune roi Alphonse XIII, et sa belle conduite en face de l'attentat régicide; — pour l'*Italie*, l'éruption du Vésuve et ses ravages, l'exposition internationale de Milan, le développement de l'émigration, qui a dépassé en 1905 le chiffre de 700 000 individus; — pour la *Roumanie*, le jubilé de vingt-cinq ans de règne de Charles I; — pour la *Serbie*, le conflit économique avec la *Turquie*, où se continue la guerre de races; — enfin pour la *Grèce,* l'accentuation de la possibilité d'une réunion prochaine avec la *Crète*, actuellement autonome.

Tel est l'exposé rapide des principaux événements relevés dans le *Bilan de l'année 1906*, lequel se termine par un intéressant exposé de l'*Expansion mondiale belge*. Quelques lignes ne suffiraient pas pour commenter ici le suggestif tableau des 1200 établissements économiques, créés en tout ou en partie par les Belges dans les cinq parties du Monde.

M. X.

XI

Les Luttes d'influence dans le golfe Persique, par J. Charles, S. J., professeur à l'Institut Saint-Ignace, École supérieure de Commerce. Une broch. in-8° de 56 pages. — Bruxelles, Librairie Albert Dewit, 1907.

Substantielle et documentaire est la brochure écrite par le R. P. Charles, S. J., professeur à l'Institut Saint-Ignace, sur les luttes d'influence dans le golfe Persique. C'est l'histoire claire et

succincte des rivalités de la Russie et de l'Angleterre empressées à se partager la fortune de l'homme malade de Téhéran et de l'entrée en scène de l'Allemagne, le troisième larron.

L'Oural et les déserts glacés de la Sibérie n'ont pas arrêté la marche des Russes vers la mer, l'Elbourz n'a pas découragé leurs efforts vers le golfe Persique. La perte de Port-Arthur et les désastres essuyés dans les plaines de la Mandchourie rendent ces efforts plus nécessaires encore à l'expansion économique de l'empire des tsars.

Des quatre routes qui relient le nord de la Perse à l'étranger, les Russes possèdent les trois meilleures; elles aboutissent à Tauris, la métropole commerciale, à Téhéran, le siège du gouvernement, à Meshed, la ville sainte. Ces routes donnent à la Russie la prépondérance dans le nord, mais il faut dominer aussi les régions du sud pour avoir accès à la mer libre. Il faut qu'après le transcaspien et le transsibérien, le transiranien soit construit. Jusqu'à présent la Perse ne possède pas de voies ferrées et le Shah s'est engagé jusqu'en 1915 à n'accorder qu'aux Russes les concessions de chemins de fer. Le transiranien construit, on ira en douze jours de Calais à Bender-Abbas; actuellement la traversée de Liverpool à Bouchir par le canal de Suez exige vingt-trois jours.

Les Russes ont su renforcer leur situation prépondérante dans le nord de la Perse par leurs opérations financières. Sauf la Banque impériale de Perse, banque d'émission dont le capital est anglais, les établissements de crédit du royaume du Shah fonctionnent grâce aux capitaux russes. Quand, en 1896, Mouzaffer-Eddin arriva au pouvoir, il eut besoin d'argent, car les frais de changement de règne sont toujours très onéreux en Perse. La Russie prêta 22 millions et demi de roubles et la Perse s'engagea à prendre la Russie pendant soixante-quinze ans comme son unique prêteuse. En 1903, la Russie rembourse l'emprunt de 400 000 livres sterling contracté en 1892 et gagé sur les revenus des douanes du Farsistan et des provinces méridionales. En 1901 elle avait encore prêté 30 millions de francs et 20 millions en 1902. Tous les emprunts en cours sont gagés sur les revenus des douanes; celles-ci réorganisées par des Belges rapportent plus qu'autrefois, mais les revenus, suffisants aujourd'hui, pourraient ne plus suffire demain.

Avant la guerre russo-japonaise le plan des Russes, en cas d'insolvabilité du Shah, était de se payer en construisant des chemins de fer et en exploitant des mines; mais depuis Moukden

il faut craindre l'intervention pécuniaire de l'Angleterre qui a reconnu les erreurs de sa politique financière. La Russie a cherché un remède dans le remaniement du tarif douanier, les produits russes étant exonérés de l'élévation des nouveaux droits. Depuis le 14 février 1903 le nouveau tarif est en vigueur, il ne favorise pas seulement les marchandises russes à l'entrée mais active le mouvement d'exportation vers la Russie.

La Perse est trop proche des Indes pour ne pas avoir depuis longtemps attiré l'attention des Anglais. Le golfe Persique, dont depuis cent ans l'Angleterre fait la police, doit devenir un lac anglais. Cependant jusque dans ces derniers temps la politique britannique, quant à la Perse, a été faible dans ses décisions et malheureuse dans ses résultats.

En 1860, Londres ne répond pas à une demande d'officiers pour réformer l'armée persane ; des projets d'arrangement concernant la construction de routes et de chemins de fer n'aboutissent pas ; l'Angleterre échoue dans ses propositions d'achat de Mohammérah qui commande le Karoun, le meilleur des fleuves persans; plus tard, en 1888, elle obtint cependant que le Karoun fût livré à la navigation internationale. Il fallut l'esprit entreprenant de lord Curzon, vice-roi des Indes, pour permettre enfin à l'Angleterre de remporter de réels succès. Parmi ceux-ci il convient de citer l'établissement d'une ligne télégraphique reliant le pays du Shah à l'empire des Indes. Les stations télégraphiques sont occupées par des détachements de lanciers bengalis et dans les localités de quelque importance de la Perse méridionale résident des groupes de fonctionnaires, d'employés, etc., qui sont les agents de la politique anglaise. Depuis 1903 le nombre des consuls anglais en Perse a passé de dix à quinze. L'Angleterre possède trois consulats établis sur les routes reliant le golfe Persique à l'intérieur de l'Iran, un consulat à Turbat dans le Khorassan et un consulat dans le Séistan; ce dernier a une importance considérable. Le Séistan, en effet, est l'avant-garde du Khorassan qui ouvre aux Russes l'accès vers le sud et les Anglais font tout pour y établir leur domination; ils ont relié cette province au Beloutchistan par une route de caravanes construite comme voie militaire et, en 1903, ils y ont envoyé le major Mac-Mahon avec 1500 hommes et 2000 chameaux pour opérer une simple délimitation de frontière. A l'arrivée du major Mac-Mahon, le représentant du Tsar quitta le Séistan. L'expédition du major Mac-Mahon fut suivie en 1904 d'une mission purement commerciale ayant parmi ses buts prin-

cipaux une enquête sur les résultats du nouveau tarif douanier. Depuis deux ans les Anglais cherchent à ruiner l'influence russe; leurs agents ont entretenu et provoqué le désordre dans la population de Téhéran et ont représenté les Belges chargés de l'administration des douanes comme vendus au Tsar.

Pour faire du golfe Persique un lac anglais, il faut aussi à l'Angleterre la prédominance en Arabie. Elle occupe déjà sur la côte arabe du golfe deux points d'une extrême importance : Koweit et Mascate, et elle cherche depuis peu à faire entrer l'Arabie elle-même dans sa sphère d'influence. Elle poursuit, d'ailleurs, ainsi un plan d'ensemble : de Port-Saïd à Koweit, à Quetta, à Bombay, à Calcutta, à Singapore, sur toute la façade asiatique de l'océan Indien, l'Angleterre veut faire flotter son pavillon. Pour cela elle doit être maîtresse du golfe Persique et se rendre l'Arabie tributaire. C'est ici que l'Allemagne intervient.

Les relations entre l'Orient et l'Allemagne ne sont pas récentes, elles proviennent des rapports financiers entretenus par les capitalistes de Berlin et de Francfort avec les pays Balkaniques. Depuis une quinzaine d'années les efforts sont organisés et le capital allemand s'est engagé dans de multiples entreprises industrielles. L'Allemagne a résolu la conquête économique de la Turquie d'Asie, et le Kaiser se pose en protecteur du Sultan et des pays de l'Islam. Les progrès sont manifestes en Asie-Mineure et la poussée vers le golfe Persique est évidente. La construction des chemins de fer est le principal facteur de la marche en avant des Allemands vers le golfe. Une société allemande racheta les 100 kilomètres de la ligne Haïder-Pacha à Ismidt ; ce fut le commencement. En 1888, concession de 500 nouveaux kilomètres de Ismidt à Eski-Chékir et Angora. En 1894, la voie se prolonge vers Kutaieh, en 1896, elle atteint Koniah; le 17 janvier 1902, malgré les représentations de la Russie, la concession de la ligne Koniah, Bagdad, Bassora et le golfe Persique est accordée.

Le chemin de fer de Bagdad jouera en Mésopotamie, ce vieux berceau de la civilisation dont la fertilité est proverbiale, le rôle que joue le chemin de fer d'Anatolie en Asie-Mineure. L'Angleterre a senti le danger, elle veut arracher à la direction du chemin de fer de Bagdad l'appropriation économique de la Mésopotamie et pour cela elle s'efforce d'obtenir du Sultan la concession des travaux d'irrigation. Mais le chemin de fer, à son terminus, a un autre rôle encore : il commande les meilleures

voies de pénétration en Perse, les routes du Karoun et celles du Tigre.

Russes, Anglais, Allemands sont donc en compétition dans le golfe Persique; au fur et à mesure que leurs chemins de fer se rapprocheront, les chances de conflit augmenteront. « Qui sait, écrit le R. P. Charles, si les conseils de l'Amirauté, l'achèvement des nouveaux *Dreadnought* ne pousseront pas le cabinet anglais à trancher promptement la question par les canons des cuirassés? » N'empêche qu'en attendant, les rivaux s'unissent quand leurs intérêts communs sont en jeu. L'avènement du nouveau Shah a agité l'Iran, l'opinion publique ameutée diversement dans ces dernières années tantôt contre les Russes, tantôt contre les Anglais, se soulève actuellement contre tout ce qui est étranger, et c'est au cri de « La Perse aux Persans » que le peuple réclame l'affranchissement de toute tutelle et de toute intervention. Devant cette situation qui menace ce que l'une et l'autre ont si péniblement acquis, l'Angleterre et la Russie se sont rapprochées et agissent de concert pour empêcher que le mouvement xénophobe ne ruine les résultats obtenus jusqu'à présent en Perse par la pénétration européenne. Mais ces sœurs rivales seront-elles longtemps d'accord? Nous le verrons quand le vent de tempête qui souffle sur l'Iran se sera apaisé.

B.

XII

R. P. Baltasar Merino, S. J. Flora descriptiva é ilustrada de Galicia. Tomo II. — Santiago, 1906.

Ce qu'ont fait récemment M. Secall pour la flore de l'Escorial et antérieurement M. Pérez Lara pour la flore de Cádix, M. Cutanda pour celle de Madrid et MM. Loscos y Pardo pour celle d'Aragon, le R. P. Merino le poursuit avec succès pour la flore de toute la Galice, comprenant les provinces de Coruña, Lugo, Orense et Pontevedra.

Dans ce volume de 634 pages, l'auteur énumère et décrit toutes les plantes phanérogames des classes *Monopétales* et *Staminées* trouvées jusqu'à présent dans la Galice, un bon nombre, par l'auteur lui-même au cours de ses fréquentes et longues excursions, et qui sont décrites ici pour la première fois.

Son livre s'adresse à la fois aux savants et aux débutants.

Pour ceux-ci il présente des clés dichotomiques et accompagne chaque genre d'une figure, reproduisant souvent plusieurs organes de la plante, feuilles, fleur, fruit, graines, etc. Il y a là le fruit d'une longue expérience et d'un travail consciencieux et tenace. *La flore de Galice* du R. P. Merino peut être rangée à côté de celles bien connues des auteurs espagnols Cavanilles, Lagasca, Amo et Lázaro ; elle complète et corrige en plusieurs points celles des Allemands Willkomm et Lange. J'ai lu quelque part que la flore d'Espagne avait été étudiée, presque exclusivement, par des étrangers. Si cela était vrai, la flore du R. P. Merino serait une brillante revanche.

Le troisième volume contiendra le reste des plantes phanérogames et les cryptogames vasculaires.

L. N., S. J.

XIII

LES MATIÈRES PREMIÈRES USUELLES D'ORIGINE VÉGÉTALE INDIGÈNES ET EXOTIQUES. Origine botanique. Distribution géographique. Usages, par ÉM. PERROT et H. FROUIN, avec quatre cartes en couleurs. — Paris, 1906.

Ce volume est la deuxième édition considérablement modifiée d'un travail paru il y a deux ans. Dans la première édition, M. le professeur É. Perrot, de l'École de Pharmacie, avait eu en vue de donner aux étudiants en sciences pharmacologiques une idée de la dispersion de par le monde des principales substances en usage en médecine et, incidemment, un aperçu de la production économique des régions du globe.

La deuxième édition est beaucoup plus complète ; outre les produits employés en pharmacie, l'auteur signale, dans les cartes, la plupart des matières premières industrielles et donne, dans le texte, d'une manière abrégée, les propriétés des produits.

Ce Dictionnaire, car les produits sont rangés par ordre alphabétique, rendra des services non seulement aux étudiants en pharmacie, en médecine, en sciences, aux élèves des cours de commerce et des écoles coloniales, mais même au grand public, qui s'intéresse de plus en plus à l'origine des produits d'usage journalier.

É. D. W.

XIV

TRAVAUX DU LABORATOIRE DE MATIÈRE VÉGÉTALE DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHARMACIE DE PARIS, par ÉM. PERROT et M. GORIS, t. III, 1905. — Paris, Vigot, frères, 1906.

Nous avons annoncé les volumes précédents de cette publication annuelle. Celui-ci comprend quatre parties.

La première traite des *Jalorandis* et de leurs succédanés, elle est due aux recherches de M. le Dr A. Duval. Le *Jalorandi* officinal est une drogue fournie par le *Pilocarpus pennatifolius;* on en trouve dans le commerce un certain nombre d'espèces de valeurs très différentes par rapport à la teneur en alcaloïde qui peut varier de 0,16 à 0,84 %. On trouve, en outre, un certain nombre de produits qui doivent être considérés comme des falsifications. A noter un tableau qui permet de reconnaître, par l'analyse microscopique du limbe de la feuille, l'origine botanique de la drogue et à décider si elle appartient aux *Pilocarpus* les plus usuels ou au *Swartzia* souvent mélangé en fraude. Parmi les succédanés de quelque valeur, l'auteur cite des Rutacées, des Scrophularinées, des *Piper*. De très nombreuses planches soigneusement exécutées accompagnent le texte.

La deuxième partie est consacrée à des recherches anatomiques sur les *Lobéliacées* par le Dr Ydrac. Cette étude, très documentée, passe en revue les caractères morphologiques externes et internes d'un très grand nombre de représentants de cette grande famille, qui devrait plutôt être rapprochée des Composées que des Campanulacées. Le travail, copieusement illustré, se termine par quelques remarques sur les Lobéliacées utilisées en médecine ; elles sont peu nombreuses.

La troisième partie est consacrée à un travail de M. le Dr Lefèvre; c'est une intéressante contribution à l'étude anatomique et pharmacologique de diverses Combrétacées. Après avoir passé en revue les caractères généraux de la famille et des divers genres qui la constituent, l'auteur aborde l'étude des Combitacées utilisées par la matière médicale, ou pouvant concourir à l'industrie des produits utiles. Citons deux espèces du genre *Anogeissus*, les *A. latifolia* et *pendula* qui, d'après cette étude, donneraient des gommes d'un réel intérêt commercial : leurs solutions sont sans goût et ne renferment aucun principe oxydant, ce qui permettrait de les employer dans l'alimentation et en pharmacie.

La quatrième et dernière partie est consacrée à une série de recherches botaniques, pharmacologiques et cliniques sur le *Cecropia*, un genre très curieux de la famille des Artocarpacées, répandu dans l'Amérique tropicale et dans les Antilles. Ces recherches sont dues à la collaboration des professeurs Ém. Perrot, Gilbert, Carnot et de M. Choay. Elles montrent tout l'intérêt qu'aurait une étude approfondie de ces végétaux, qui permettrait peut-être d'utiliser le produit du *Cecropia* à l'état pur, ce qui rendrait son action médicale, sur le cœur, plus constante.

Nous ne reviendrons pas sur le dernier travail du volume, *Les Coleus à tubercules alimentaires* dont nous avons parlé antérieurement en signalant à l'attention de tous le premier volume de l'ouvrage, *Les Végétaux utiles de l'Afrique tropicale française*, résultat des observations faites dans ses voyages en Afrique occidentale par notre confrère et ami M. Aug. Chevalier.

É. D. W.

XV

Notice bibliographique sur plus de deux cents manuscrits inédits ou peu connus concernant, pour la plupart, l'histoire naturelle de la région lyonnaise, par Claudius Roux. Une brochure gr. in-8° de 26 pages. — Lyon, A. Rey, 1906.

M. Claudius Roux a eu la bonne pensée — et il devrait trouver de nombreux imitateurs, pour d'autres régions — de signaler « aux naturalistes les principaux mémoires inédits concernant l'histoire naturelle (zoologie, botanique, géologie, minéralogie, paléontologie, mines, eaux minérales, sylviculture, agriculture, etc.) de la région lyonnaise.

On se contente souvent, quand on aborde un sujet, de faire la bibliographie des ouvrages imprimés sur la question. C'est perdre de vue que les dépôts de manuscrits renferment souvent, sur bien des questions que l'on croit tout actuelles, d'utiles renseignements. En tout cas, pour celui qui veut faire l'histoire des progrès de la science dans un pays déterminé, des recueils comme ceux de M. Claudius Roux sont très précieux.

Pour ce qui concerne l'histoire naturelle de la région lyonnaise, M. Roux fait connaître, à partir de 1650, plus de deux cents manuscrits.

Des notes biographiques et bibliographiques, très sobres, mais fort précises, accompagnent l'indication des manuscrits.

Inutile d'ajouter que l'auteur très exactement fournit l'indication de la bibliothèque qui possède les documents cités.

Une table alphabétique des noms d'auteurs rend les recherches aisées et permet de juger d'un seul coup d'œil de l'importance qu'ont eue, dans la région lyonnaise, les études d'histoire naturelle. Il y a cent trente-trois noms. S'ils ne sont pas tous illustres, plusieurs méritent d'être mieux connus et, pionniers obscurs de la science, ont du moins fait effort pour contribuer à son progrès incessant.

J. G.

XVI

Bibliothèque de l'Observatoire royal de Belgique (Uccle). — Liste alphabétique et index géographique des Revues, Journaux et Collections périodiques, préparés par A. Collard, bibliothécaire de l'Observatoire. Un vol. gr. in-8° de 108 pages. — Bruxelles, Hayez, 1906.

La bibliothèque de l'Observatoire royal de Belgique reçoit actuellement à peu près neuf cents revues, exactement huit cent soixante-dix-neuf. Il devenait urgent, tant pour le personnel de l'Observatoire que pour les savants admis à profiter de sa bibliothèque, de posséder l'exact recensement de tant de richesses bibliographiques.

C'est chose faite aujourd'hui par les soins de l'actif bibliothécaire de l'établissement, M. Auguste Collard.

Ce catalogue est rédigé d'une façon très méthodique. Il comprend la liste, par ordre alphabétique, du nom de toutes les revues ou collections périodiques. Mais cela est insuffisant. On peut avoir oublié que la publication périodique de tel observatoire s'appelle Annales, Mémoire, Bulletin ou Revue. Il est donc indispensable d'avoir un index géographique qui indique, de façon rapide, quels sont, existant à la bibliothèque, les travaux émanant de telle ou telle institution scientifique donnée.

Ce double travail a été fait avec un soin méticuleux et une entente complète des règles de la bibliographie. La multiplicité et la variété des idiomes auxquels appartiennent les publications recensées, donnent assurément quelque mérite à la scrupuleuse exactitude qui distingue le travail de M. Collard.

On n'a pas craint d'afficher carrément dans le catalogue les lacunes qui déparent certaines collections. Ainsi sont, d'une

part, épargnées au chercheur de désagréables déconvenues, et de l'autre sont stimulées les bonnes volontés administratives pour la prompte disparition de ces trous qui font le tourment des bibliothécaires soigneux.

M. Collard promet un catalogue méthodique et détaillé des périodiques et il médite aussi de dresser un nouveau catalogue de la bibliothèque de l'Observatoire. Il vient de prouver qu'il est bien préparé à aborder cette double tâche. Puisse-t-il la mener à bonne fin !

J. G.

XVII

Valeur des décisions doctrinales et disciplinaires du Saint-Siège. Syllabus; Index; Saint-Office; Galilée, par L. Choupin, S. J., docteur en théologie et en droit canonique, professeur de droit canonique au scolasticat d'Ore, Hastings. Un vol. in-8° de vii-388 pages. — Paris, Beauchesne et Cie, 1907.

Le titre ne donne pas du livre une idée absolument exacte : on s'attendrait à trouver, après une dissertation sur l'autorité des décisions du Saint-Siège, de brèves applications de la théorie aux sujets énoncés par le sous-titre. En réalité, les proportions sont renversées et les applications sont longuement développées; au reste, c'est tout profit pour le lecteur, grâce à l'érudition et à la science que l'auteur y déploie.

La première partie traite de la nature et de l'objet de l'infaillibilité; l'auteur y rappelle que dans une constitution dogmatique papale, l'infaillibilité est limitée à la partie *dispositive* qui ne comprend souvent que deux ou trois lignes; tout le reste, exposé des faits historiques et des arguments, jouit sans doute d'une grande autorité, mais n'est pas infaillible.

La seconde partie nous dit quel genre d'adhésion nous devons aux décisions du Saint-Siège. Les définitions *ex cathedra* réclament évidemment l'assentiment complet, excluant tout doute. Les Constitutions, les Encycliques pontificales où l'infaillibilité n'est pas engagée, nous imposent un assentiment religieux, comprenant, outre le *silence respectueux*, l'adhésion intérieure; car nous trouvons là des vérités auxquelles la haute compétence du Pape et les grâces que lui vaut sa charge de Pasteur des âmes, donnent une certitude morale. Après avoir décrit les origines et la procédure du Saint-Office, l'auteur nous montre que

les décrets doctrinaux de cette Congrégation approuvés *in forma communi* restent des décrets de Congrégation, entachés même des défauts de fait ou de droit qu'ils pouvaient avoir. L'approbation *in forma specifica* en fait des actes pontificaux, mais non des définitions *ex cathedra*. Les décrets disciplinaires, de quelque Congrégation qu'ils émanent, n'ont d'autorité universelle que s'ils sont formellement adressés à l'Église entière. L'auteur reconnaît pourtant une force obligatoire universelle à tous les décrets de deux Congrégations : le Saint-Office et l'Index.

Vient ensuite l'application de la doctrine au Syllabus et aux décrets condamnant Galilée.

Après avoir rappelé brièvement l'histoire du Syllabus, l'auteur étudie sa valeur juridique et montre qu'elle est distincte de celle des documents qui y sont cités : ceux-ci, en effet, sont, parfois, des décrets non universels ; le Syllabus, au contraire, est adressé à l'Église entière ; mais il faut recourir aux documents pour avoir le sens exact des propositions condamnées.

L'auteur insiste, avec raison, sur cette dernière remarque : pour qui ne la perd pas de vue, les condamnations les plus effarouchantes reprennent leur véritable aspect : ainsi en est-il de la proposition 80 : « Le Pape peut et doit se réconcilier avec le progrès, le libéralisme et la civilisation moderne ». Elle est tirée de l'allocution *Jamdudum cernimus*, du 18 mars 1861 : le Pape y décrit le système antichrétien souvent abrité sous ces beaux noms, et rappelle les services rendus par le Saint-Siège à la vraie civilisation, puis il ajoute : « Mais si, sous le nom de civilisation, il faut entendre un système inventé précisément pour affaiblir et peut-être même pour renverser l'Église, non, jamais le Saint-Siège et le Pontife romain ne pourront s'allier avec une telle civilisation ».

Quelle est la valeur dogmatique du Syllabus ? Personne ne conteste sa haute autorité, mais est-elle garantie par l'infaillibilité ? Grosse question, qui suscitait naguère de retentissantes polémiques. Voici la conclusion de l'auteur : « Il nous paraît... qu'il n'est pas improbable et téméraire d'affirmer que le Syllabus n'est pas garanti par l'infaillibilité de l'Église (p. 122) ».

La quatrième partie traite de la condamnation de Galilée. Les décrets de 1616 et de 1633 sont purement disciplinaires ; ils n'ont d'ailleurs reçu qu'une approbation *in forma communi* ; ils sont donc restés de simples décrets de Congrégation ; l'infaillibilité est hors de cause.

La cinquième partie donne le commentaire du Syllabus. On y

trouve son texte authentique, les sources d'où chaque proposition est tirée, le contexte et les circonstances historiques, qui aident beaucoup à déterminer le sens des propositions, la valeur et la portée de la condamnation et les documents pontificaux qui depuis ont renouvelé ces condamnations. Un bon nombre de propositions sont suivies, en manière de commentaire, d'une brève et substantielle dissertation.

Une science sûre d'elle-même, une documentation très riche, la clarté et la précision de l'exposition, justifient pleinement l'éloge que les revues théologiques ont fait de cet excellent ouvrage; nous nous y associons volontiers.

L. D.

REVUE

DES RECUEILS PÉRIODIQUES

HISTOIRE DES MATHÉMATIQUES ET DE L'ASTRONOMIE

La Bibliotheca Mathematica (1). — Voici les principaux sujets traités, en 1905, dans le journal de M. Eneström.

L'antiquité grecque y a été l'objet de deux notices seulement, encore sont-elles toutes les deux assez courtes. Dans la première (2), Paul Tannery s'occupe de l'arithmétique des Grecs, avant l'époque d'Euclide. Il conclut à l'existence, dès le temps d'Archytas, « d'éléments » d'arithmétique similaires à ceux d'Euclide, qu'Archytas aurait contribué à améliorer. Dans la seconde, M. E. Haas appelle l'attention sur l'originalité des doctrines physiques de Jean Philopon (3).

La science arabe n'a, cette année, tenté personne. A moins cependant de vouloir y rattacher l'article de M. Björnbo sur Gérard de Crémone, traducteur de l'Algèbre d'Alkwarizmi et des Éléments d'Euclide (4), article qui se rapporte cependant plutôt au moyen âge chrétien.

Quant à ce moyen âge il occupe, au contraire, dans le volume actuel, une place prépondérante. On y remarque, en premier lieu, un mémoire fort étendu de M. Wegener sur les travaux astronomiques du roi Alphonse X (5). Cette étude est divisée en

(1) Bibliotheca Mathematica, *Zeitschrift für Geschichte der mathematischen Wissenschaften*, 3e série, t. VI. Leipzig, 1905.

(2) *Un traité grec d'arithmétique antérieur à Euclide*, par Paul Tannery, pp. 225-229.

(3) *Ueber die originalität der physikalischen Lehren des Johannes Philoponus*, von Arthur E. Haas, in Göttingen, pp. 237-242.

(4) *Gerhard von Cremonas Uebersetzung von Alkwarizmis Algebra und von Euklids Elementen*, von Axel Anthon Björnbo, in Köbenhavn, pp. 239-248.

(5) *Die astronomischen Werke Alfons X*, von Alfred Wegener, in Berlin, pp. 129-185.

six chapitres dont voici les titres : 1° L'époque d'Alphonse X; 2° les ouvrages d'Alphonse X; 3° le livre des instruments astronomiques; 4° les Tables Alphonsines; 5° les fragments de tables publiés par M. Rico y Sinobas dans le tome IV de son édition des *Libros del Saber de Astronomia del Rey d. Alfonso X* (1); 6° l'original castillan des Tables Alphonsines.

A citer encore, à propos du moyen âge, les recherches de M. Duhem sur l'auteur de l'*Algorithmus demonstratus* (2), ainsi que le catalogue des manuscrits mathématiques de la Bibliothèque Saint-Marc, à Florence, par M. Björnbo (3). Ce catalogue n'est qu'une deuxième partie, la première a été publiée, en 1903, dans le tome IV de la BIBLIOTHECA MATHEMATICA.

Parmi les travaux relatifs à l'époque moderne, nommons : La construction approchée des polygones réguliers, d'après Albert Dürer, par M. Hunrath (4). Les cercles magiques chez les Japonais, par M. Hayashi (5). Une règle de convergence donnée par Euler, par M. Eneström (6). Même sujet, par M. Pringsheim (7). Deux équations différentielles de la *Mécanique analytique* de Lagrange, par M. Jourdain (8). La théorie des fonctions chez Cauchy et chez Gauss, par le même (9). La notion de fonction analytique chez Jacobi et son rôle dans le développement de la théorie des fonctions, par M. Schlesinger (10). Sur une transfor-

(1) *Libros del saber de astronomia del Rey D. Alfonso X de Castilla*, compilados, anotados y comentados por Don Manuel Rico y Sinobas. Madrid, 1863-1867. L'ouvrage devait comprendre cinq volumes, mais le dernier est, croyons-nous, resté inachevé.

(2) *Sur l'Algorithmus demonstratus*, par P. Duhem, à Bordeaux, pp. 9-15.

(3) *Die mathematischen S. Marcohandschriften, in Florenz*, von Axel Anthon Björnbo, in Köbenhavn, pp. 230-238.

(4) *Zu Albrecht Dürers Näherungskonstruktionen regelmässiger Vielecke*, von K. Hunrath, in Kassel, pp. 249-251.

(5) *Die magischen Kreise in der japanischen Mathematik*, von T. Hayashi, in Tokyo, pp. 347-349.

(6) *Ueber eine von Euler aufgestellte allgemeine Konvergenzbedingung*, von G. Eneström, in Stockholm, pp. 186-189.

(7) *Ueber ein Eulersche Konvergenzkriterium*, von Alfred Pringsheim, in München, pp. 252-256.

(8) *On two differential equations in Lagrange's « Mécanique analytique »*, by Philip E.-B. Jourdain, in Broadwinsor, pp. 350-353.

(9) *The theory of functions with Cauchy and Guss*, by Philip E.-B. Jourdain, in Broadwindsor, pp. 190-207.

(10) *Ueber den Begriff der analytischen Funktion bei Jacobi und seine Bedeutung für die Entwickelung der Funktionentheorie*, von L. Schlesinger in Klausenburg, pp. 88-96.

mation de contact, chez Fermat, par M. Loria (1). Enfin la troisième et dernière partie de la Correspondance d'Euler avec Jean I Bernoulli, éditée par M. Eneström (2). Elle contient, cette fois, cinq lettres d'Euler et autant de Bernoulli.

Les questions actuelles ont donné lieu à trois articles : L'utilité d'un dépôt de manuscrits des mathématiciens, par M. Eneström (3). Sur la valeur d'hypothèses historiques dans le domaine de l'histoire des mathématiques, par le même (4). Le cours d'histoire des mathématiques à l'Université de Naples, par M. Amodeo (5).

Reste enfin à signaler deux articles nécrologiques : Wilhelm Schmidt, l'éditeur bien connu de Héron, par M. Rudio (6). Paul Tannery, par M. Zeuthen (7). Dans cette notice, l'une des meilleures consacrées à l'illustre défunt, le professeur de Copenhague s'occupe, en détail, des travaux de Tannery qui ont trait à l'histoire des mathématiques grecques, mais il examine plus sommairement les autres parties de son œuvre. La liste bibliographique des travaux de Tannery annexée à l'article de M. Zeuthen a été dressée par M. Eneström. Tout en ne comprenant pas moins de 241 numéros, elle est cependant encore loin d'être complète, car les travaux exclusivement philologiques de Tannery — et l'on sait s'ils sont nombreux ! — y ont été systématiquement omis.

Rapports et comptes rendus du troisième Congrès international d'Histoire des Sciences (8). — Le deuxième Congrès international de Philosophie se tint, on se le rappelle, à Genève, du 4 au 8 septembre 1904. Sur la demande de Paul Tannery, il avait été adjoint aux quatre sections compo-

(1) *Sopra una transformazione di contatto ideata da Fermat,* di Gino Loria a Genova, pp. 343-346.

(2) *Der Briefwechsel zwischen Leonard Euler und Johann I Bernoulli,* von G. Eneström, in Stockholm, pp. 16-87.

(3) *Ueber den Nutzen der Begründung eines Mathematikerarchivs,* von G. Eneström, in Stockholm, pp. 97-100.

(4) *Ueber die Bedeutung historischer Hypothesen für die mathematischen Geschichtsschreibung* von G. Eneström, in Stockholm, pp. 1-8.

(5) *Sul corso di storia delle scienze matematiche nella r. Università di Napoli,* di F. Amodeo, a Napoli, pp. 387-393.

(6) *Wilhelm Schmidt* (1862-1905) von Ferdinand Rudio, in Zurich, pp. 354-386.

(7) *L'Œuvre de Paul Tannery comme historien des mathématiques,* par H.-G. Zeuthen, à Copenhague, pp. 257-304.

(8) Extraits des Rapports et Comptes rendus du deuxième Congrès international de Philosophie, tenu à Genève, en 1904. Genève, Kündig, 1906.

sant le Congrès de 1900, à Paris, une cinquième section réservée à l'Histoire des sciences. Les historiens des sciences avaient eu deux fois déjà, à Paris en 1900 et à Rome en 1903, l'occasion de se réunir en assemblée internationale. La cinquième section du Congrès de philosophie tenait donc en même temps lieu de troisième Congrès d'histoire des sciences.

Le Congrès fut présidé par Paul Tannery qui en dirigea les débats avec son autorité et son tact habituels. L'illustre et regretté savant s'était chargé de publier le volume contenant les mémoires présentés au Congrès et de résumer les discussions qu'ils soulevèrent. Il commença ce travail, mais la mort vint l'interrompre. C'est M. Claparède, secrétaire général du Congrès, qui dut l'achever. C'est lui aussi qui signa l'Introduction.

Voici la nomenclature des Notices et Mémoires contenus dans le volume.

Paul Tannery, par Jules Tannery, sous-directeur de l'École Normale à Paris. Notice nécrologique écrite avec une plume à laquelle l'affection fraternelle donne une émotion et un charme particuliers. En tête du volume, un beau portrait de Paul Tannery.

Les Cyranides, par Paul Tannery. Les Cyranides sont un ouvrage assez peu connu jusqu'ici, dont M. Ch.-Em. Ruelle vient de publier le texte grec, pour la première fois en entier. Il est divisé en quatre livres. Le premier livre, la première Cyranide, est un traité de matière médico-magique. Les trois derniers constituent un bestiaire divisé en trois séries alphabétiques, une pour les quadrupèdes, une pour les oiseaux, une pour les poissons. Dans cet article Paul Tannery discute divers points douteux concernant l'auteur, la date et le mode de composition des Cyranides.

Neuere Wertungen Hohenheims, von Karl Sudhoff. Étude sur les derniers travaux consacrés à Théophraste von Hohenheim, plus connu sous le nom de Paracelse.

Deutsche Volkskunde im Zeitalter des Humanismus und der Reformation, von Dr Erich Schmidt. Le folklore allemand à l'époque de l'humanisme et de la réforme.

« *Théorème de Pythagore* », *Origine de la Géométrie scientifique*, par M. H.-G. Zeuthen, professeur à l'Université de Copenhague. Article important. Les remarques de M. Zeuthen, fondamentales pour l'histoire, n'ont pas moins de portée dans la pédagogie scientifique.

Gassendi, historien des Sciences, par M. Henri Berr. Note très

courte, émettant l'idée que Gassendi mériterait d'être étudié comme historien des sciences.

De l'accélération produite par une force constante. Notes pour servir à l'histoire de la dynamique, par M. Duhem. Il serait oiseux d'appeler l'attention des lecteurs de la REVUE sur l'érudition et la haute valeur philosophique des travaux de l'auteur relatifs à l'histoire de la mécanique. Le mémoire actuel est divisé en dix chapitres dont voici les titres : 1° Les diverses explications de la chute accélérée des graves données dans l'antiquité et au moyen âge ; 2° L'origine de la notion d'« impetus » ; 3° L'accélération et la dynamique de Léonard de Vinci ; 4° Les théories dynamiques de Nicolo Tartaglia ; 5° Jérôme Cardan, Gaspard Contarini, Benedictus Pererius ; 6° L'accélération résulte d'une accumulation d'« impeti » produits par une force continue : Alexandre Piccolomini, Jules César Scaliger, J.-B. Benedetti ; 7° Les premières recherches de Galilée ; 8° Les recherches ultérieures de Galilée ; 9° Descartes et Beeckmann montrent qu'une force constante produit un mouvement uniformément accéléré ; 10° L'œuvre de Pierre Gassendi. — Conclusion.

La simultanéité des découvertes scientifiques, par M. F. Mentri. L'auteur commence par quelques remarques générales sur les conditions où se sont produites les découvertes simultanées. Il réunit ensuite un certain nombre de cas intéressants groupés sous les chefs suivants : mathématiques, astronomie, mécanique, physique, chimie, biologie, sociologie.

Note historique sur l'emploi de procédés matériels et d'instruments usités dans la géométrie pratique au moyen âge (Xe-XIIIe siècles), par M. Victor Mortet, archiviste paléographe, bibliothécaire à l'Université de Paris. Travail très érudit.

Pour l'histoire des hypothèses sur la nature des taches du soleil, par M. Ernest Lebon. L'auteur classe les hypothèses en six groupes : 1° Les astres errants ; 2° Les nuages ; 3° Les volcans ; 4° Les écumes ; 5° Les scories ; 6° Les rochers. Le mémoire de M. Lebon est intéressant, surtout à cause du grand développement donné à la partie bibliographique du sujet. Il faut cependant y signaler une omission assez grave. Pourquoi l'édition nationale de Galilée n'est-elle pas nommée une seule fois ?

Sur deux manuscrits arabes, par M. H. Derenbourg. Dans cette note l'auteur signale l'existence, à la Bibliothèque nationale de Madrid, de deux manuscrits arabes utiles à l'établissement du texte du περὶ ὕλης ἰατρικῆς (de la matière médicale) de Dioscoride.

Vœu du deuxième Congrès international de philosophie relatif à l'enseignement de l'histoire des sciences. Le Congrès de Philosophie, se ralliant sur ce sujet à plusieurs congrès d'histoire, déclare adopter et faire siens les vœux de ces congrès, à savoir :

« 1° Que les rudiments d'histoire des sciences soient enseignés en même temps que les sciences elles-mêmes et par les mêmes professeurs dans les établissements d'enseignement secondaire; que cet enseignement, tout élémentaire d'ailleurs, soit rendu obligatoire par les programmes, et reçoive une sanction dans les examens.

» 2° Que dans les universités l'enseignement régulier de l'histoire des sciences soit assuré par la création de cours divisés en quatre séries : *a)* Sciences mathématiques et astronomiques; *b)* Sciences physiques et chimiques; *c)* Sciences naturelles; *d)* Médecine. »

Ce vœu a été adopté à l'unanimité.

Les travaux consacrés aux mathématiques chez les Grecs, pendant le dernier quart du XIXe siècle, par J.-L. Heiberg (1). — La signature de l'auteur de cette notice, la haute valeur du recueil dans lequel elle a paru, suffiraient déjà l'une et l'autre à elles seules pour appeler l'attention sur cet article. Mais il y a mieux. Si personne ne pouvait traiter le sujet avec plus de compétence que le professeur de Copenhague, il n'est pas toujours donné, même aux maîtres, d'aussi bien réussir.

M. Heiberg commence par passer en revue les publications de textes.

Jusqu'à une époque relativement très récente, dit-il, les éditions des mathématiciens et des astronomes grecs laissaient sensiblement à désirer. Faites sans grande étude des manuscrits, sans esprit de critique, sans connaissance assez approfondie de la langue grecque, ces éditions ont pu jadis satisfaire les mathématiciens et les astronomes, mais elles ne sauraient contenter aujourd'hui les philologues.

Toutes les éditions récentes n'ont même pas échappé à ces défauts des éditions anciennes. C'est ainsi qu'on peut encore

(1) *Die Altertumwissenschaft im letzten Vierteljahrhundert. Mathematik, Mechanik und Astronomie* von J.-L. Heiberg. Kopenhagen. JAHRESBERICHT UEBER DIE FORTSCHRITTE DER KLASSISCHEN ALTERTUMWISSENSCHAFT begründet von Conrad Bursian, herausgegeben von Wilhelm Kroll, t. 124. Leipzig, 1905, pp. 129-143.

les reprocher au Nicomaque de Friedlein (1866), au Commentaire de Proclus du même (1873), et à l'Optique de Ptolémée, par Govi (1883).

L'édition des Œuvres de Pappus (1876-79), par Hultsch, est au contraire excellente. Elle ouvre, peut-on dire, une ère nouvelle. On y voit bientôt apparaître Théon de Smyrne (1878), par Hiller; Archimède avec le commentaire d'Eutocius (1880-81), par Heiberg; Euclide (1883-96), par Heiberg et Menge; Autolycus(1885), par Hultsch; Hypsicles (1888), par Manitius; Cléomède (1891), par Ziegler; Jamblique (1891-94), par Festa et Pistelli; Apollonius avec le commentaire d'Eutocius (1891-93), par Heiberg; Philon (1893), par Schöne; Diophante (1893-95), par Paul Tannery; Hipparque (1894), par Manitius; Serenus (1896), par Heiberg; Geminus (1898), par Manitius; l'Almageste de Ptolémée (1898-1903), par Heiberg; enfin, Héron d'Alexandrie (1899-1903), par W. Schmidt et H. Schöne. Ces éditions font, on le sait, partie, pour la plupart, de la *Bibliotheca Scriptorum Graecorum et Romanorum Teubneriana* de Leipzig.

Malgré la longueur de cette énumération, l'ère de la publication critique des textes ne semble pas près de devoir déjà se fermer. La littérature byzantine contient encore de nombreux matériaux inutilisés et il en est de même de la littérature arabe. M. Heiberg donne à ce sujet des indications précieuses.

Après la liste des éditions nouvelles, l'auteur passe aux publications périodiques consacrées à l'histoire des mathématiques : le BULLETTINO, du prince Boncompagni; l'*Historisch-literarischen Abtheilung* du ZEITSCHRIFT FÜR MATHEMATIK UND PHYSIK, avec son supplément, les *Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik;* la BIBLIOTHECA MATHEMATICA; enfin, car on ne saurait le passer ici complètement sous silence, les FORTSCHRITTE DER MATHEMATIK. Voilà, si je puis m'exprimer ainsi, pour la partie bibliographique du sujet.

M. Heiberg examine ensuite les principaux problèmes de l'histoire de la mathématique grecque posés, discutés et résolus pendant le dernier quart du XIXe siècle.

Mais ici comment résumer?

L'auteur écrit d'un style des plus serrés. Tous les détails qu'il donne paraissent également importants. Les mémoires analysés sont signés de noms si illustres qu'on ne sait auquel s'arrêter. Car comment choisir quand il s'agit des jugements portés par M. Heiberg sur les principaux travaux de Hultsch, de Cantor, de Paul Tannery, de Zeuthen, de Loria et de Heiberg lui-même?

Le traité sur l'astrolabe plan de Sévère Sabokt (1). — Le traité de Sévère a été édité pour la première fois, dans le texte original syriaque, par M. l'abbé Nau, qui y a joint une traduction française. Mais cette publication date déjà de 1899 et n'est-il pas un peu tard pour en parler dans ce bulletin? Je ne le crois pas, car très remarquée, dès son apparition, dans le monde des philologues, elle a passé jusqu'ici à peu près inaperçue dans celui des astronomes. Je voudrais contribuer à réparer cet oubli en l'analysant aujourd'hui.

L'auteur du traité de l'astrolabe, Sévère Sabokt de Nisibe, évêque de Qenserin, était célèbre, selon Bar-Hebræus, au temps du patriarche Jean (631-649). Il prit part, avec le patriarche jacobite Théodore, à une controverse publique contre les Maronites durant le mois de haziran de l'an 659. Enfin, il nous reste de lui une lettre écrite au prêtre et périodeute Basile de Chypre, sur la quatorzième lune de nisan de l'an 665. De ces divers détails on peut conclure que Sévère vivait au milieu du VIIe siècle.

Sévère se distingua, à la fois, dans les études philosophiques, ecclésiastiques et mathématiques. M. Sachau l'avait déjà fait connaître à ce dernier point de vue, en publiant, dans ses *Inedita Syriaca* (2), quelques fragments des ouvrages astronomiques de Sévère Sabokt. M. l'abbé Nau complète les renseignements fournis par M. Sachau et nous montre Sévère sous un jour nouveau, en éditant le Traité de l'astrolabe plan, d'après le manuscrit de Berlin (collection Petermann, n° 37).

Le traité de l'astrolabe comprend deux parties :

Dans la première, l'auteur donne une définition philosophique de l'astrolabe plan. Il décrit ensuite l'instrument. Celui-ci est formé par plusieurs tablettes rondes, planes, placées les unes au-dessus des autres à l'intérieur d'une plus grande qui est creuse et les contient. Parmi ces tablettes mobiles, la plus importante est travaillée à jour et se nomme l'*araignée;* elle porte les signes du zodiaque et des principales étoiles fixes.

Après la description de l'instrument, viennent quelques généralités sur les cercles et les coordonnées célestes qui figurent sur les tablettes.

La seconde partie du traité est formée par vingt-cinq problèmes, donnant autant de règles pour se servir de l'astrolabe.

(1) *Le Traité sur l'Astrolabe plan de Sévère Sabokt écrit au VIIe siècle, d'après des sources grecques et publié pour la première fois avec traduction française,* par M. F. Nau, JOURNAL ASIATIQUE, 9e sér., t. 13. Paris, 1899, pp. 56-101, 238-303.

(2) Vienne, 1870, pp. 127-134.

En fait, nous n'avons cependant que vingt-trois de ces problèmes. C'est que les nos 20 et 21 font défaut dans le manuscrit de Berlin ; car, nous dit le scribe, il manquait là un feuillet dans le manuscrit qu'il transcrivait.

Aucune des deux parties de l'ouvrage de Sévère ne rappelle la théorie des projections stéréographiques qui règle la construction de l'astrolabe. Après une simple description de l'instrument, l'auteur suppose qu'on le tient en main et se contente d'en indiquer l'usage. Cette description est même assez diffuse. Aussi pour en faciliter la compréhension, M. l'abbé Nau a-t-il cru devoir ajouter au texte quelques planches empruntées à d'autres ouvrages, mais qui s'appliquent parfaitement à l'astrolabe de Sévère.

Quelle est maintenant l'importance de l'ouvrage de Sévère Sabokt?

Je pourrais le remarquer tout d'abord, c'est le seul traité sur l'astrolabe conservé en langue syriaque. Mais je laisse aux philologues le soin de dire le parti qu'on peut en tirer pour l'étude du vocabulaire de cette langue. Pour moi, j'indiquerai seulement ici le haut intérêt qu'il présente pour les historiens de l'astronomie.

Et tout d'abord Sévère Sabokt écrit au milieu du VIIe siècle. A cette époque, absorbés par leurs guerres incessantes, les Arabes n'ont pas encore eu les loisirs nécessaires pour s'adonner aux sciences ; aussi les sources auxquelles puise l'auteur sont-elles exclusivement grecques. Mais s'il en est ainsi, les Arabes n'ont pas inventé l'astrolabe plan, comme on l'a cru trop longtemps. Cet astrolabe se nomme donc, bien à tort, « astrolabe des Arabes ». Et en effet, les Arabes ont reçu l'astrolabe plan des Grecs, et le traité de Sévère a été l'un des agents de cette transmission.

Voilà une conclusion absolument neuve et imprévue, renversant de fond en comble toutes les idées courantes sur le sujet.

Autre résultat non moins important.

Sévère Sabokt mentionne huit fois l'inventeur de l'astrolabe. Il ne le nomme pas, il est vrai, mais il le distingue nettement de l'astronome Ptolémée et suppose qu'il a vécu avant lui.

Ce dernier fait, établi par M. l'abbé Nau pour la première fois, lui permet d'interpréter deux passages de Vitruve, jusqu'ici inintelligibles, et de découvrir dans l'un des deux, le nom de l'inventeur de l'astrolabe plan.

L'astrolabe, on se le rappelle, servait principalement à la

détermination de l'heure diurne ou nocturne. Pour cela on faisait une observation de hauteur, mais il fallait au préalable régler sur l'instrument la position de l'*araignée*.

Ceci compris, Vitruve (1) énumérant les inventeurs des diverses horloges s'énonce comme suit : « Arachnen Eudoxus astrologus, nonnulli dicunt Apollonium » ; c'est-à-dire, « Eudoxe l'astronome ou, selon quelques-uns, Apollonius (a inventé) l'*araignée* ».

L'araignée? Ce mot présentait jusqu'ici une indéchiffrable énigme. Vitruve, en effet, vivait au Ier siècle de notre ère. Or on supposait l'invention de l'astrolabe postérieure non seulement à Eudoxe de Cnide et à Apollonius de Perge, mais à Vitruve lui-même. On croyait, je viens de le dire, l'astrolabe d'origine arabe!

Mais si cet instrument est antérieur à Ptolémée, le texte de Vitruve s'explique de lui-même. L'araignée, c'est l'astrolabe; et par conséquent l'inventeur de l'astrolabe est Eudoxe ou Apollonius.

On voit, par ces quelques indications rapides, combien la publication de M. l'abbé Nau a d'importance dans l'histoire de l'astronomie et à quel point elle mérite d'appeler l'attention.

L'hérésie des antipodes, par Boffito (2). — Ph. Gilbert a jadis traité ici ce sujet, dans un article très étudié : *Le Pape Zacharie et l'hérésie des antipodes* (3). On se rappelle l'objet en litige. Au dire de certains historiens, le pape Zacharie aurait, au VIIIe siècle, condamné l'évêque de Salzbourg, saint Virgile, pour avoir enseigné la sphéricité de la terre.

En réalité, tout le débat roule sur une équivoque, et cette équivoque, il faut l'avouer, est même assez grossière. Le blâme adressé par Zacharie à Virgile est indéniable, mais il est relatif à la doctrine des *antipodes*. Or il faut attribuer à ce mot le sens qu'il a dans la controverse. Les antipodes sont des hommes. D'après les idées erronées de la science du temps, la région de la terre qu'ils habitaient était absolument inaccessible. *Ils ne descendaient donc pas d'Adam*. Cette dernière conclusion contredit évidemment le dogme catholique. Connue du pape, elle méritait d'attirer ses censures.

(1) *Architectura*, IX, 9.

(2) P. Giuseppa Boffito, *L'eresia degli antipodi*. Publicazioni dell' Osservatorio del Collegio alla Querce (Firenze), série in-4°, n° 5. Firenze, 1905.

(3) Rev. des Quest. scient., 1888, t. XII, pp. 478-503.

Cette question semblait tirée au clair depuis longtemps. Montucla lui-même, peu théologien cependant, mais guidé par le bon sens et la loyauté, l'exposa parfaitement dans son *Histoire des Mathématiques* (1). N'importe, la discussion a été renouvelée de nos jours par des savants en vue et non des moindres. Aucune pièce nouvelle n'a été apportée, il est vrai, au débat. Les vieilles réponses restent donc les meilleures. Le P. Boffito a cru utile de les grouper en faisceau une dernière fois. Les arguments du savant barnabite étant, par la force même des choses, ceux de Gilbert, sa manière de les mettre en œuvre ressemble naturellement à celle du professeur de l'Université de Louvain. L'article du P. Boffito est court, mais malgré sa brièveté il s'impose par la richesse et la sûreté de sa documentation. C'est un travail très bien fait.

Les machines de Villard de Honnecourt (XIIIe siècle), par M. Feldhaus (2). — Il y a tantôt un demi-siècle, se publiait à Paris un volume de luxe intitulé : *Album de Villard de Honnecourt, architecte du XIIIe siècle, manuscrit publié en fac-similé, annoté, précédé de considérations sur la renaissance de l'art français au XIXe siècle et suivi d'un glossaire, par J.-B. de Lassus; ouvrage mis au jour après la mort de M. de Lassus et conformément à ses manuscrits, par Alfred Darcel* (3).

Immédiatement très apprécié par les amateurs de beaux livres, ce volume resta un peu confiné chez eux. Il mérite cependant d'être aussi remarqué par les historiens de la science. En effet, les documents du XIIIe siècle relatifs à la mécanique et à l'art de l'ingénieur sont peu nombreux. Or l'*Album de Villard de Honnecourt* en contient plusieurs. C'est à ce point de vue très spécial que M. Feldhaus l'étudie. Parmi les curieuses figures de l'*Album* reproduites par M. Feldhaus, je signalerai une roue à aubes, dans laquelle Villard semble avoir voulu trouver une solution de l'éternel problème du mouvement perpétuel; une machine hydraulique élévatoire; divers automates, etc., etc.

(1) 2e édit. Paris, an VII-X, t. I, p. 498.

(2) *Villard aus Honnecourt ein Technikus des 13. Jahrhunderts*. Beitrag zur Geschichte des Machinenbaues von F. M. Feldhaus mit 8 Zeichnungen nach dem Originale von Frau Dr. A. Degen. ZEITSCHRIFT DES ÖSTERR. INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINES. Vienne, 1906. N° 30.

(3) Paris (imprim. impériale), J.-F. Delion, 1858, in-4°, de XXII et 233 pp. orné de 72 planches.

La solution de l'équation du 4e degré, d'après Ferrari, par M. Gravelaar (1). — Au dire de M. Gravelaar, les auteurs néerlandais auraient le tort de trop négliger la méthode imaginée par Ferrari pour résoudre l'équation du 4e degré. Cette méthode, ajoute-t-il, vaut les méthodes classiques. En cela, M. Gravelaar a parfaitement raison; mais les manuels français ne méritant guère le reproche adressé par l'auteur aux manuels de ses compatriotes, toute cette partie de son article, en fait la deuxième, me paraît pouvoir être passée ici sous silence.

Il en est tout autrement de la première partie.

M. Gravelaar nous y donne l'histoire de la découverte de la 1re solution de l'équation du 4e degré. C'est Cardan, on le sait, qui fit connaître, en 1545, dans son *De arte magna*, le procédé de Ferrari. M. Gravelaar, fidèle à la méthode suivie invariablement par lui, remonte à la source originale, le *De arte magna* de Cardan, et en extrait tous les passages qui se rapportent à son sujet. Il en résulte un travail excellent et, ce qui est peu banal dans un problème d'histoire paraissant au premier abord si usé et si ancien, ce travail est neuf et des plus intéressants.

Un traité sur l'anneau astronomique (**XVIe siècle**) (2). — Ce traité, inédit jusqu'ici, vient d'être publié par M. le commandant Brocard, dans les Mémoires de l'Académie des Sciences de Lisbonne. Voici comment s'est exprimé M. R. Guimarães en présentant ce travail à l'Académie :

« M. le commandant Brocard, correspondant étranger de l'Académie m'a signalé, il y a quelque temps, l'existence à la bibliothèque de Soissons, d'un manuscrit digne d'attention ayant le n° 183 (ancien n° 176).

» Ce manuscrit renferme : 1° fol. 1 : *Traitté que le docteur Pedro Nunes fit sur certains doubtes de la navigation, adressé au roy nostre souverain seigneur ;* 2° fol. 13 : *Traitté que le doc-*

(1) *De leerwijze van Ferrari voor de oplossing der vergelijkingen van den vierden graad,* door N. L. W. A. Gravelaar (Deventer). WISKUNDIG TIJDSCHRIFT, t. I, 1905.

(2) *Un manuscrit intéressant. Mémoire présenté à l'Académie Royale des Sciences de Lisbonne,* par R. Guimarães. MEMORIAS DA ACADEMIA REAL DAS SCIENCIAS DE LISBOA. Nov. Ser. Classe de Sciencias Mathematicas, t. VII, part. 2. Lisboa, 1905.

Les tirés à part sont précédés d'une introduction distincte.

Description et Usage d'un nouvel anneau astronomique d'après un manuscrit inédit, par H. Brocard.

teur Pierre Nunes, cosmographe du roy notre sire, a faict pour la deffense de la carte de navigueur avec le régiment de la haulteur, adressé a moult illustre et excellent prince l'infant don Louys (Une des tables astronomiques accompagnant ce traité est datée de 1533). Ces deux ouvrages sont la traduction des deux premières œuvres de Pedro Nunes, publiées à Coïmbre, en 1533; 3° fol. 75 : « *Briefue compoñ et fabrique dun aneau astronomic et general, aultre que ceulx qui ont este parcy deuant inuentés* ».

» La réunion, dans ce manuscrit du XVIe siècle, de trois documents, dont deux sont de Pedro Nunes, fait naturellement demander si le dernier ne pourrait pas lui être attribué.

» Les recherches que j'ai faites sur l'œuvre de ce savant mathématicien me conduisent cependant à une opinion contraire, mais il est toutefois hors de doute qu'un tel manuscrit, encore inédit, offre un certain intérêt et c'est ce qui me porte à le soumettre à l'appréciation de l'Académie Royale des Sciences de Lisbonne. »

M. Guimarães a raison de trouver de l'intérêt dans le manuscrit découvert par M. Brocard. Sa publication complète heureusement en plus d'un point notre connaissance des anneaux astronomiques; car ce genre d'instrument fort en usage au XVIe siècle, tout en ayant certains éléments communs, différait assez dans le détail. Leur théorie et leur pratique donnèrent lieu à des écrits nombreux. L'un d'eux, l'*Usus Annuli Astronomici de Gemma Frisius*, fut longtemps célèbre aux Pays-Bas. Il eut de nombreuses éditions, dont la plus ancienne, croyons-nous, parut à Anvers, en 1539, chez Gilles Coppens de Diest, en annexe à la *Petri Apiani Cosmographia* (1).

Quant à l'auteur anonyme du traité de l'anneau astronomique, publié par M. Brocard, il commence par décrire l'instrument. Son anneau, réduction de la sphère armillaire, est composé de quatre cercles : l'écliptique, l'équateur, le *colure* solstitial et le *colure* équinoxial. Sous ces noms de *colures* l'auteur désigne deux grands cercles de la sphère, perpendiculaires entre eux, passant, le premier par les pôles et les points des solstices, le second par les pôles et les points des équinoxes. Le dispositif est suspendu à un fil et forme ainsi fil à plomb.

Après la description de l'appareil vient le texte, comprenant les énoncés de dix-neuf problèmes suivis de leur solution.

(1) La chose est néanmoins douteuse; voir : *Bibliographie de l'œuvre de Pierre Apian*, par F. van Ortroy. Besançon, 1902; note de la p. 36.

M. Brocard a ajouté aux tirés à part des Mémoires de l'Académie des Sciences de Lisbonne, une Introduction de dix pages. Il nous y donne des renseignements sur le manuscrit qui contient le traité de l'anneau astronomique. Il faut signaler, en outre, dans cette Introduction, une liste importante de manuscrits relatifs à l'anneau astronomique, à l'astrolabe et à d'autres instruments anciens analogues, dont l'usage s'était perpétué jusqu'au XVIe siècle. Les recherches de M. Brocard ont porté, nous dit-il, sur les seules bibliothèques de France ; même ainsi limitées, ajoute-t-il, elles n'ont pas la prétention d'être complètes.

La découverte de l'anneau de Saturne, par Huygens (1). — Sans renfermer, à proprement parler, de vues nouvelles, l'étude de M. Mascart sur la découverte de l'anneau de Saturne par Huygens, n'en constitue pas moins une œuvre d'un mérite sérieux. L'auteur ne s'est pas contenté de parcourir les histoires de l'astronomie, il a lu les ouvrages originaux ; aussi son histoire de la découverte de l'anneau de Saturne est-elle un travail d'excellente vulgarisation.

M. Mascart reproduit, en grand nombre, les anciens dessins. Idée heureuse, mettant en pleine lumière tout le mérite de la conception de Huygens. L'anneau de Saturne ! L'idée nous paraît aujourd'hui si naturelle et si simple ! On est surpris en voyant les longs tâtonnements par lesquels on y est arrivé ! Un demi-siècle, voilà le temps écoulé depuis le jour où Galilée dirigea pour la première fois une lunette sur Saturne, jusqu'à celui où Huygens publia à La Haye le *Systema Saturnium* (2). Et cependant ces savants, hésitant devant l'interprétation du phénomène, portent les noms d'Hévélius, de Gassendi, de Boulliau, de Riccioli, de Scheiner et de Galilée !

L'étude de M. Mascart est divisée en trois parties. Dans la première, l'auteur nous donne un aperçu des explications essayées avant celle de l'anneau par Huygens. Dans la seconde, il nous

(1) Jean Mascart, astronome-adjoint à l'Observatoire de Paris, *La Découverte de l'Anneau de Saturne par Huygens*. Avec la reproduction des dessins anciens. Paris, Gauthier-Villars, 1907. REVUE DU MOIS, juillet, août et septembre, 1906.

(2) *Christiani Hvgenii Zulichemii, Const. F. Systema Satvrnivm, Sive De causis mirandorum Saturni Phœnomenôn, Et Comite ejus Planeta Novo*, Hagæ-Comitis, Ex Typographia Adriani Vlacq. M.DC.LIX. (Bibl. Roy. de Belgique, v. H. 8345. Exemplaire portant une dédicace autographe de Huygens aux jésuites d'Anvers).

montre comment l'illustre Hollandais parvint, petit à petit, à la conception claire et précise de l'anneau de Saturne. Enfin, dans la troisième partie, M. Mascart résume les découvertes récentes sur le système saturnien.

Pour une histoire de la Géométrie analytique, par G. Loria (1). — L'importance de cette publication dépasse notablement ce qu'annonce le titre. En effet, malgré la modestie de ces mots, *Pour une histoire de la géométrie analytique*, M. Loria nous donne un vrai précis de l'histoire de cette science; précis érudit, exact, en un mot excellent, qui mériterait d'être réédité à part comme manuel de cours. Je l'ai résumé dans MATHESIS (2), chapitre par chapitre. Je ne me propose pas de recommencer dans cette REVUE un travail analogue, mais je voudrais appeler au moins l'attention sur ceci, qu'à peu près à chaque page de son mémoire, M. Loria relève et corrige des erreurs courantes.

Et tout d'abord, contrairement à une opinion encore beaucoup trop accréditée chez les géomètres, la géométrie analytique est d'origine grecque. Les méthodes de Descartes dérivent immédiatement de celles d'Apollonius. Attribuer à Descartes la paternité de la géométrie analytique est donc une assertion historiquement fausse.

Au surplus, la géométrie analytique doit plus à Fermat qu'à Descartes. Chez Fermat on trouve notamment, d'une manière bien plus explicite que chez Descartes, la notion des transformations des coordonnées. Ensuite, Fermat a certainement l'idée très nette de la représentation d'un lieu géométrique par son équation, idée restée tout au moins confuse chez Descartes. Ainsi Fermat énonce le premier clairement la proposition que l'équation du premier degré entre deux variables représente toujours une ligne droite.

La *Géométrie* de Descartes est-elle donc le plus ancien traité de Géométrie analytique? Oui, mais à condition de s'entendre sur le sens à donner à cette réponse affirmative. Elle servit de base sur laquelle furent édifiés tous les travaux de géométrie analytique postérieurs. Voilà, à proprement parler, l'origine de sa grande et très légitime réputation.

(1) *Pour une Histoire de la Géométrie analytique*, von G. Loria aus Genua, VERHANDLUNGEN DES DRITTEN INTERNATIONALEN MATHEMATIKER-KONGRESSES IN HEIDELBERG, vom 8. bis 13. August 1904. Leipzig, 1905, pp. 562-574.

(2) T. XXVI, Gand, 1906, pp. 260-264.

Mais, encore une fois, je ne puis songer à résumer ici le mémoire de M. Loria en entier, comme je l'ai fait dans MATHESIS. Je voudrais pourtant en avoir dit assez, pour engager à le lire.

Paul Tannery et ses derniers travaux. — Pour clore ce bulletin, je réunis sous cette rubrique commune toute une série de notes et d'articles, trop peu importants pour mériter d'être analysés en détail, mais dont l'ensemble ne saurait cependant être passé sous silence.

Et tout d'abord, j'ai déjà signalé tantôt les notices nécrologiques consacrées à notre regretté collègue par son frère, M. Jules Tannery, et par M. Zeuthen. Sans vouloir énumérer ici toutes les autres, — peu de savants en ont eu un aussi grand nombre! — je m'en voudrais de ne pas nommer au moins celle de M. G. Milhaud (1).

Voici maintenant les titres de quelques petits articles dus à la plume de Paul Tannery et dont la publication est en majeure partie posthume :

Les Sociétés savantes et l'histoire des sciences (2). L'auteur y insiste sur les services que, par les conditions spéciales de leur situation, les sociétés savantes de province pourraient rendre à l'histoire des sciences.

Les Éphémérides chez les Byzantins (3).

Pour l'histoire du problème inverse des tangentes (4). Mémoire présenté au 3e Congrès international des mathématiciens, tenu à Heidelberg au mois d'août 1904.

Discours prononcé au banquet de clôture du 2e Congrès international de philosophie à Genève, le 8 septembre 1904 (5).

Note sur trois manuscrits grecs mathématiques, de Turin (6).

Sur l'histoire des mots « Analyse » et « Synthèse » en mathématiques (7). Importante et très intéressante étude sur les

(1) LA REVUE DES IDÉES, 3e année. Paris, 1906, pp. 28-39.

(2) *Ministère de l'Instruction publique et des Beaux-Arts.* BULLETIN DES SCIENCES ÉCONOMIQUES ET SOCIALES DU COMITÉ DES TRAVAUX HISTORIQUES ET SCIENTIFIQUES. Année 1904. Paris, 1906, pp. 367-371.

(3) BULLETIN DES SCIENCES MATHÉMATIQUES, 2e série, t. XXX. Paris, 1905, pp. 59-63.

(4) VERHANDLUNGEN DES DRITTEN MATHEMATIKER-KONGRESSES, in Heidelberg, vom 8. bis 13. August 1904. Leipzig, 1905, pp. 502-514.

(5) REVUE DES ÉTUDES GRECQUES, t. XVII. Paris, 1904, pp. 396-398.

(6) REVUE DES ÉTUDES GRECQUES, t. XVIII. Paris, 1905, pp. 207-210.

(7) ATTI DEL CONGRESSO INTERNAZIONALE DI SCIENZE STORICHE. Rome, 1903, t. XII, sezione VIII. Storia delle scienze fisiche, matematiche, naturali e mediche, pp. 219-229.

changements multiples subis par la signification de ces deux mots.

Enfin, *Auguste Comte et l'Histoire des sciences* (1). En lisant ce dernier article, on s'aperçoit que l'auteur traite un sujet qu'il affectionne. Tannery eut toujours, on le sait, un faible pour Comte. Il affectait de s'en proclamer le disciple et se disait même le dernier tenant de la doctrine des trois états. Aucun maître, d'après lui, n'aurait exercé une plus forte influence sur son esprit que le chef de l'école positiviste.

En disant cela, Tannery, sans le vouloir, exagérait et se trompait même. Personne ne ressemble moins à Comte que lui. C'est la lecture de Comte, je le veux bien, qui a poussé Tannery à l'étude de l'histoire des sciences. Comme influence exercée sur un tel homme, c'est sans doute beaucoup; mais c'est aussi à peu près tout. Sans qu'il en eût conscience, toutes les tendances intellectuelles de Tannery l'éloignaient des dogmes fondamentaux du positivisme. Aussi M. G. Milhaud me paraît-il être absolument dans le vrai quand il dit dans la notice nécrologique que je nommais tantôt : « La lecture de Paul Tannery est une de celles qui contribuent le plus à mettre en défiance contre la philosophie scientifique de Comte (2). »

H. Bosmans, S. J.

ENTOMOLOGIE

Les papillons terrestres. — Ces gracieuses et frêles créatures ont de tout temps attiré l'attention et retenu souvent celle des savants. Plus de 50 000 personnes, dit-on, parmi lesquelles des souverains, s'intéressent aux papillons. On les chasse, on étale leurs ailes, on les conserve dans des boîtes en carton ou dans les vitrines de nos grands musées, où on les range méthodiquement, quand on le peut. Or plus de nonante pour cent de ces amis des papillons ne sont pas en état de déterminer par eux-mêmes ceux qu'ils capturent et qu'ils collectionnent. Il existe, il est vrai, plusieurs ouvrages locaux ou régionaux, bon nombre de monographies éparses, mais il manquait un ouvrage

(1) Revue générale des sciences pures et appliquées, t. XVI. Paris, 1905, pp. 410-417.
(2) P. 38.

d'ensemble, suffisamment complet, facile à consulter et relativement bon marché. M. Adalbert Seitz, de Stuttgart, comble cette lacune en publiant par livraisons un superbe ouvrage consacré aux *Papillons terrestres*.

Il se divise en deux parties : Les grands papillons paléartiques, et les papillons exotiques. La première comprendra 100 livraisons ; 225 planches en photochromie y représenteront 10 000 espèces, y compris les différences sexuelles et la partie inférieure de l'aile. La seconde partie aura 300 livraisons avec 650 planches et dessins se rapportant à 20 000 espèces. Ce sera le recueil le plus riche et le plus exact consacré jusqu'ici aux Lépidoptères. Les espèces paléartiques y sont décrites pour la première fois en totalité.

Le texte rédigé en allemand, en anglais et en français, est sobre, comme il convient, et donne seulement le nom, la description et la synonymie, s'il y a lieu.

L'ouvrage s'adresse aux collectionneurs et aux amateurs; mais il sera utile aussi aux lépidoptéristes de profession, en leur présentant la synthèse de longues et patientes recherches de nombreux et savants collaborateurs.

Les papillons de Belgique. — M. L. J. L. Lambillion poursuit avec succès l'étude des Lépidoptères de Belgique. Un premier volume est publié, l'ouvrage entier en contiendra dix. Il comprend la description de chaque espèce : insecte parfait, œuf, chenille, chrysalide, plantes nourricières, époque d'éclosion, localités, distribution géographique. Les descriptions sont sobres, mais suffisantes, puisées dans les ouvrages réputés ou dans les observations faites par l'auteur pendant une vingtaine d'années. Le travail paraît périodiquement dans le BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ ENTOMOLOGIQUE NAMUROISE.

En même temps, M. Lambillion édite par fascicules le catalogue des Lépidoptères de Belgique.

Pendant l'année 1906, M. le baron de Crombrugghe de Picquendael a fait paraître le *Catalogue raisonné des Microlépidoptères de Belgique*.

Les papillons d'Amérique. — A plusieurs reprises les papillons d'Amérique ont été l'objet d'étude des lépidoptéristes nord-américains. M. Harrison G. Dyar a décrit plusieurs genres nouveaux et M. William Warren des espèces nouvelles de noctuelles de l'Amérique méridionale dans les PROCEEDINGS du Musée

National des États-Unis. Le premier a dressé aussi une liste, avec descriptions, de nouveaux genres et d'espèces nouvelles, des noctuelles Cochlidiennes d'Amérique.

Un plus grand nombre encore d'espèces nouvelles de l'Amérique du Sud a été créé par un Anglais, M. William Schaus; quant à M. Edward A. Klages, de Penssylvanie, il s'est borné à énumérer les noctuelles Syntomides du sud du Vénézuéla, collectionnées en 1898-1900.

Pour sa part, dans les mêmes PROCEEDINGS du Musée national des États-Unis, M. August Busk a décrit plusieurs Tinéides du Texas, et dans un autre mémoire il fait la revision des espèces américaines du genre *Cosmopteryx*.

Le travail le plus volumineux dans ce genre est celui de M. William Varren, de Londres, qui contient la *Description de nouveaux genres et espèces de Géométrides de l'Amérique du Sud*. C'est le n° 1456 des PROCEEDINGS du Musée national.

Les Orthoptères sauteurs. — M. W.-F. Kirby, attaché au Musée d'Histoire Naturelle de Londres, poursuit son Catalogue synonymique des Orthoptères. Dans un second volume (VIII-562 pages in-8°) imprimé à la fin de l'année 1906, il énumère méthodiquement les espèces appartenant aux deux familles des Orthoptères sauteurs appelées par lui *Achetidæ* et *Phasgonuridæ*.

Les Achétides sont des Grillons, appelés ordinairement Gryllides. Les Phasgonurides sont les sauterelles, appelées le plus souvent Locustides. Pourquoi ces changements de noms? C'est que l'auteur suit fidèlement la loi de priorité, et pour lui obéir il sacrifie force noms consacrés par un long usage. Nous croyons qu'il a raison. C'est l'unique manière de revendiquer les droits de celui qui, le premier, a décrit une espèce ou créé un groupe taxonomique quelconque. Ainsi on dira *Acheta* (1775), type de la famille, au lieu de *Gryllus* (1804) ou *Liogryllus* (1877), pour désigner le grillon des champs, *Liogryllus campestris*. On dira *Sciobia* (1838) au lieu de *Platyblemmus* (1839). Il est fait toutefois exception à cette règle lorsque le nom générique serait le même que le nom spécifique. Ainsi on dira *Curtilla* (1815) pour *Gryllotalpa* (1812), et par suite *Curtilla gryllotalpa* L. (courtilière) et non *Gryllotalpa gryllotalpa* L., et moins encore *Gryllotalpa vulgaris* Latr.

En agissant ainsi, d'une part on conserve le nom dit spécifique, et d'autre part on évite la fâcheuse tautologie qui résulte

surtout de l'emploi de la nomenclature trinominale et de la répétition pour la forme typique, du nom de l'espèce.

Il serait à souhaiter que cette pratique devînt universelle en zoologie et en botanique. On ne lirait plus alors, comme dans un ouvrage récent sur les oiseaux d'Europe, par exemple, *Pica pica pica* et *Coccothraustes coccothraustes coccothraustes*. Il est plus risible encore d'écrire *Asinus asinus asinus*, ce que blâmait récemment un naturaliste anglais.

M. Kirby écrit tous les noms spécifiques avec majuscule : *Steropleurus Brunneri*, *Siculus*, *Ortegai*, *Panteli*, *Scabricollis*, etc., ce qui vaut mieux que *St. brunneri*, *ortegai*, *panteli*, selon l'habitude de quelques auteurs. Cependant, nous réserverions la majuscule aux seuls noms propres, et nous écririons : *St. Brunneri*, *siculus*, *Panteli*, *scabricollis*, etc. Nous dirions aussi *Anisoptera viticollis*, *spinosa*, etc., au féminin, au lieu du neutre, souvenir sans doute du genre éliminé *Xiphidium* avec lequel concordaient ces noms.

Quelques légères omissions (entre autres, celle de mon genre *Synephippius*) sont très excusables dans un ouvrage d'une information scientifique d'ailleurs très ample et très soignée.

Souhaitons que le volume III, qui contiendra les *Locustides* (Acridides des auteurs, les criquets) vienne bientôt compléter l'œuvre considérable de M. Kirby, pour la plus grande utilité de tous les Orthoptéristes.

Les Orthoptères de l'Amérique du Sud. — Les Locustides (sauterelles) et Gryllides (grillons) du Paraguay, collectionnés par M. W.-T. Foster, ont été étudiés par M. Andrew Nelson Caudell dans le n° 1450 des PROCEEDINGS du Musée National des États-Unis.

M. James-A.-G. Rehn s'est occupé de quelques Orthoptères acridiens (criquets) de l'Amérique du Sud, et a créé plusieurs genres et espèces dont il donne la description dans le n° 1453 de la même publication.

Le mémoire de M. Laurence Brunner, publié dans le n° 1461 des PROCEEDINGS, résume tout ce qu'on sait jusqu'ici des espèces de *criquets* du Paraguay. L'auteur y donne d'abord une clé dichotomique pour les tribus, qu'il appelle sous-familles des Acridides, savoir : Tettigines, Eumastacines, Proscopines, Truxalines, Œdipodines, Pyrgomorphines et Acridines. Puis, dans chaque section, s'il y a lieu, à cause du nombre considérable, on donne la clé pour la détermination des genres et des espèces. Les formes nouvelles

sont en grand nombre, comme on devait s'y attendre, et leur description est très détaillée ; elle est donnée en anglais, comme le texte. Les échantillons sur lesquels le mémoire est basé font partie des collections du Musée National des États-Unis à Washington.

Remarquons, d'après ce que nous disions plus haut, que les noms de Locustides, Gryllides et Acridides doivent être remplacés respectivement par ceux de Phasgonurides, Achétides, Locustides.

Des Criquets des États-Unis. — Dans un mémoire illustré, intitulé *Researches on North American Acridiidæ*, M. Albert Pitts Morse, de l'Institution Carnegie de Washington, nous donne le résultat de ses recherches au cours d'une excursion de 68 jours consacrée à explorer 60 localités très distantes. Il a recueilli à peu près 6000 spécimens, dont 90 espèces de criquets qu'il énumère et décrit soigneusement avec indication complète de leur habitat. Des notes biologiques et géographiques, avec illustrations, sur les endroits où se trouvent quelques-unes des espèces énumérées, ajoutent encore à l'intérêt scientifique de ce mémoire. Plusieurs espèces sont décrites comme nouvelles par l'auteur.

Les Gonapophyses des Odonates. — Dans une thèse pour le doctorat, à l'Université de Berne, M. Herman Willem Van der Weele, de Leiden, étudie très au long la morphologie et le développement des appendices génitaux des Odonates (*Morphologie und Entwicklung der Gonapophysen der Odonaten.* Mit drei Tafeln. Bern, 1906).

La variété et le caprice des formes des appendices abdominaux des Odonates avaient attiré depuis longtemps l'attention des spécialistes, qui, souvent, ont fondé sur ces appendices surtout les délimitations des espèces et des genres, voire des familles ; mais on n'avait pas fait sur ce sujet de travail d'ensemble ni assez suivi, ni assez sérieux. La thèse de M. Van der Weele tend à combler cette lacune.

Il utilise d'abord les divers travaux et renseignements épars et établit la concordance de la nomenclature; il développe ensuite son sujet, en s'appuyant sur un grand nombre de préparations.

On remarquera la classification qu'il fait des Odonates en familles, avec la parenté qu'il leur attribue. D'après l'auteur, les *Odonates* descendraient des *Protodonates*, et ceux-ci des *Éphéméridiformes*. La famille des Palæophlébides serait la représentante

actuelle des Protodonates éteints. En nous guidant par la forme des ailes, nous avons d'une part les *Zygoptera* (à ailes toutes semblables entre elles), avec les familles *Caloptérygides* et *Agrionides*, et d'autre part, les *Anisoptera* (à ailes diverses) avec les familles *Æschnides*, *Petalourides*, *Cordulegastrides, Gomphides Cordoulides* et *Libellulides*. Cette division en familles nous paraît commode pour le classement des Odonates.

L'auteur entre ensuite dans la description des Gonapophyses des diverses familles et l'indication de leur développement. L'ouvrage est illustré de plusieurs figures formant deux planches doubles lithographiées.

Les Perlides d'Europe. — Le Névroptériste bien connu de Prague, le professeur Fr. Klapálek, a entrepris la revision des Perlides d'Europe, appelées Plécoptères à cause de leurs ailes postérieures pliées en éventail, et élevées sous ce nom au rang d'ordre par plusieurs entomologistes. Il commence par la famille des *Dictyopterygides*, créée par lui en 1904, en séparant des Perlides les trois genres *Dictyopteryx* P., *Arcynopteryx* Klp. et *Isogenus* Newm. Il y ajoute les sous-genres qu'on pourrait élever au rang de genres, *Dictyopterygella* Klp. et *Dictyogenus* Klp.

Les caractères assignés par M. Klapálek à cette famille ne seront peut-être pas jugés suffisants, par tous les entomologistes, pour créer une nouvelle famille : il semble juste cependant d'en faire tout au moins une tribu de la grande famille des *Perlides*, si on ne veut pas l'élever à la dignité d'ordre : ce qui serait, à notre avis, plus rationnel. Quant au nom principal *Dictyopteryx*, employé préalablement pour un genre de Lépidoptères, M. Banks a proposé de lui substituer celui de *Perlodes*. Si l'on admet ce changement, on devrait appeler la tribu dont il est question du nom principal, *Perlodines*, comme nous l'avons dit ailleurs.

Le travail de M. Klapálek est très sérieux, et les descriptions y sont accompagnées de nombreuses illustrations représentant les ailes, la tête, le prothorax, l'extrémité de l'abdomen.

Les puces américaines. — M. Carl-F. Baker, de la *Estacion agronomica de Santiago de las Vegas*, *Cuba*, profitant des travaux de ses devanciers, surtout de Wagner, Rothschild, Wahlgren et Enderlein, a pu faire une revision complète de ces petits tyrans, élevés à la dignité d'ordre par Latreille sous le nom de *Siphonaptera*, ressuscité par Tiraboschi en 1904. L'ordre est divisé par l'auteur en huit familles, chacune avec ses genres et

espèces. L'énumération est toujours précédée de la clé dichotomique correspondante.

La liste est très considérable. Également longue est celle des hôtes qui portent et nourrissent ces bestioles : deux espèces d'oiseaux seulement en souffrent, l'endyptes et la poule domestique; mais un grand nombre de familles et d'espèces de mammifères sont exposées continuellement à leurs piqûres; les murides, les rats, sont les plus atteints. C'est ce qui leur vaut d'être accusés de propager, par ces hôtes malencontreux, plusieurs maladies infectieuses.

Les ailes des Tenthrédinides (mouches à scie). — M. Alexandre Dyar Mac-Gillivray a fait une longue étude sur les ailes de la « superfamilie », ainsi qu'il l'appelle, des Tenthredinoidea. Il montre comment, à son avis, les ailes les plus compliquées des Hyménoptères proviennent d'un type très simple. La nervation des divers genres typiques est présentée et décrite, et l'homologie des diverses nervures est signalée. Finalement l'auteur essaye une classification de la « superfamilie », dont il présente la clé dichotomique pour les familles et la division dichotomique en sous-familles de la famille des *Tenthredinides*. De nombreuses figures, représentant des ailes types, accompagnent la description.

Les guêpes fouilleuses américaines de la tribu des Chlorionines. — Nous appelons tribu ce que l'auteur d'une monographie récente, M. Henry T. Fernald, appelle sous-famille. Quant au nom *Chlorioninæ*, employé par l'auteur, il est l'aboutissant d'une série de changements. C'est à propos de ces changements qu'on lisait dans la NATURE de Londres la critique suivante : « Le mémoire *Guêpes fouilleuses*, etc., est une de ces corrections de la nomenclature qui vont rapidement convertir la zoologie en une science inaccessible excepté pour les spécialistes. D'après l'auteur toutes les espèces qui, pendant le dernier siècle, ont été comprises dans le genre *Sphex*, ne lui appartiennent pas. Conséquemment, elles apparaissent maintenant sous le nom de *Chlorion*. Par contre, les vrais *Sphex* sont pour l'auteur ceux qu'on nommait *Ammophila*. D'où un nouveau changement ; la sous-famille *Chlorioninæ* (nous dirions tribu) remplace celle des *Sphegince* et celle-ci à son tour remplace, bien que sous le nom de *Sphecinæ*, celle des *Ammophilinæ*. Le hasard a voulu que l'on conservât le nom de famille, lui aussi sous une autre forme, *Sphecidæ*. »

La vérité est que l'auteur a dû faire ce changement; ce n'est pas sa faute si le désordre s'est introduit dans ce groupe pendant le dernier siècle. Le nom générique *Sphex*, créé par Linné, comprenait 25 espèces. Or ces 25 espèces ont été malencontreusement attribuées successivement, par les naturalistes postérieurs, à divers genres. Conformément aux lois de la nomenclature internationale, l'auteur a voulu rétablir le genre *Sphex*, en choisissant l'espèce la plus typique, la mieux connue et la mieux décrite. C'est la *sabulosa*, qu'on plaçait jusqu'ici sous le genre *Ammophila*. Voilà l'origine de tout ce remaniement. Nous ne pouvons que féliciter l'auteur de ce changement nécessaire, juste et clair.

Le mémoire est très complet pour les Guêpes fouilleuses de l'Amérique supérieure. L'auteur a étudié un grand nombre d'exemplaires que l'on trouve dans les musées d'Amérique. La description est détaillée et la synonymie abondante. Plusieurs figures accompagnent ce travail.

Les Hyménoptères des Philippines et du Japon. — Les hyménoptères des Philippines ont été envoyés, pour la plupart, à M. William H. Ashmead par le R. P. Robert Brown, qui en a lui-même décrit quelques espèces. Deux genres, *Parasaphes* et *Eurycranium,* vivant en parasites sur les coccides destructeurs de la végétation, sont à signaler pour leur importance économique.

Ceux du Japon proviennent du Musée National; ils appartiennent au groupe appelé par Ashmead « superfamille Ichneumoidea ». Plusieurs espèces et genres nouveaux sont décrits et les descriptions sont accompagnées de quelques figures formant quatre planches.

Les insectes australiens. — L'histoire de l'entomologie australienne est dispersée dans une foule de publications de langues différentes, et se résume presque toujours dans des récits de voyages ou des descriptions de quelques petites collections assemblées par divers naturalistes. La synthèse de ces notices était chose malaisée, mais très désirable. Elle vient d'être entreprise par M. Walter W. Froggatt, entomologiste du Gouvernement, dans la New South Wales. L'ouvrage contiendra environ 400 pages de texte avec 200 illustrations et 30 planches. L'Australie est la terre des êtres bizarres. Cette étude promet d'être très attrayante pour tous les naturalistes.

La collection de M. le baron Edmond de Sélys-Longchamps. — Les naturalistes du monde entier connaissent les travaux de Sélys-Longchamps, décédé en 1900. Au cours de sa longue carrière, il cultiva diverses branches de l'Histoire Naturelle, mais, depuis 1840 jusqu'à sa mort, il est resté le prince des Odonatologistes. Sa collection d'Odonates, la plus riche peut-être qui soit, ne compte pas moins de 1550 espèces. Elle se trouve à présent, avec les autres parties de sa collection entomologique, au Musée royal de Belgique, à Bruxelles, et va être étudiée soigneusement par divers naturalistes. Sur l'invitation de M. Severin, conservateur du Musée, M. Malcolm Burr étudiera les Orthoptères, le Dr Günter Enderlein les Psocides, J. Desneux les Termitides, le Prof. F. Klapálek les Éphémérides et les Perlides, H. Van der Weele les Planipennes, les Myrméléonides, les Ascalaphides et les Némopterides, G. Ulmer les Trichoptères, le Dr F. Ris les Libellulines, R. Martin les Cordulines, les Æschnines et les Caloptérygines, L. Krüger les Gomphines, le Prof. F. Förster les Agrionines, et Maurice de Sélys-Longchamps les Lépidoptères. Les résultats de ces études seront édités dans un ouvrage in-4°, orné d'environ 60 planches, en noir et en couleurs, avec description des espèces connues ou nouvelles.

Les insectes paléozoïques américains. — Une belle collection d'échantillons assemblés par M. Lacoe, au cours de plusieurs années de persévérante recherche et cédée généreusement au Musée National des États-Unis, a servi de base à un mémoire considérable de M. Handlirsch, assistant au Musée d'Histoire Naturelle de Vienne. Sur ces échantillons, la plupart consistant en de simples empreintes d'une aile ou même d'un fragment d'aile, M. Handlirsch a fondé les descriptions de nombreuses formes nouvelles. Pour celles qui étaient déjà connues, il se borne à les citer en renvoyant le lecteur aux publications où elles ont été décrites.

M. Handlirsch a eu pour devanciers, dans la voie qu'il a suivie, MM. Scudder, Comstock et Needham, mais la majeure partie de son travail est originale. Il a remanié la classification de M. Scudder et a créé plusieurs espèces, voire des familles et des ordres. Tels sont les familles *Dictyoneuridæ, Lithomantidæ, Lycocercidæ, Heolidæ*, etc., etc., et les ordres *Hadentomoidea, Hapalopteroidea, Protorthoptera, Protoblattoidea, Blattoidea.*

Quoique l'on puisse discuter l'arrangement et la phylogénie que suppose l'auteur, il est certain que son ouvrage marque une nouvelle étape dans la connaissance des insectes fossiles et de l'entomologie générale.

LONGIN NAVÁS, S. J.

SCIENCES ÉCONOMIQUES

La tension monétaire. — La production de l'or. — Les crises économiques. — L'hiver 1906-1907 a été marqué par une exceptionnelle tension monétaire; financiers, industriels et commerçants n'ont cessé de répéter : « L'argent est cher, l'argent est rare ». Les bilans périodiques des grandes banques ont exprimé cette situation par des chiffres significatifs. Le 26 septembre 1906, la réserve de la Banque d'Angleterre représentait 42 7/8 p. c. des engagements; le 2 janvier 1907, elle n'en représentait plus que les 33 1/2 p. c. A la Banque de France, le 27 septembre, l'encaisse s'élevait à 72,42 p. c. des engagements; le 3 janvier suivant, la proportion était descendue à 61,93 p. c. Le 22 septembre, l'encaisse métallique de la Reichsbank était de 843 386 000 marks, minimum inconnu depuis 1900; le 31 décembre elle s'abaissait à 665 017 000 marks. La réserve des Banques associées de New-York, qui dépassait de 12 545 000 dollars le chiffre légal, le 29 septembre, et de 13 025 000 dollars, le 13 octobre, était, le 8 décembre, de 6 705 000 dollars inférieure à ce chiffre, d'où une différence maximum de 19 730 000 dollars.

La tension monétaire a amené la hausse de l'escompte et celle de l'intérêt des avances de capitaux. A Amsterdam, le taux officiel de l'escompte a atteint 5 p. c., à Londres, 6 p. c., à Berlin, 7 p. c. En Belgique, il n'a pas dépassé 4 p. c., mais le change nous a été défavorable d'une façon permanente et la prime sur Paris s'est élevée jusqu'à 4 1/2 p. m. La France seule a eu la bonne fortune d'un escompte modéré et invariable de 3 p. c.; très tard après les mesures de protection prises dans les autres pays, la Banque de France se contenta de majorer l'intérêt des avances sur valeurs de l'État. Il est vrai que, par la constitution d'un portefeuille étranger, la Banque avait délibérément amoindri son encaisse pour venir en aide à la Banque d'Angleterre.

L'entente cordiale a, sans doute, poussé à cette manifestation de solidarité économique. En tout cas la Banque de France, grâce à ses puissantes réserves métalliques, a fait preuve d'une remarquable stabilité et a rendu des services signalés au commerce national. Au cours de l'hiver 1906-1907 on a constaté, une fois de plus, l'utilité, voire la nécessité de telles réserves qui, loin de constituer des immobilisations improductives, sont de précieux régulateurs pour les transactions internationales, et on a vivement insisté en Angleterre et aux États-Unis d'Amérique en faveur de l'augmentation des encaisses.

La tension monétaire a eu comme autre conséquence la diminution de la valeur des titres mobiliers. On le constatait à Berlin dès le mois d'octobre 1906. A Londres, près de 3 milliards de livres sterling de titres observés avaient subi, à un certain moment, une déperdition d'ensemble d'environ 10 p. c. Cette conséquence n'a cependant pas été générale; pour la Belgique on estime à 3,03 p. c. la plus-value, en 1906, des titres cotés à la Bourse de Bruxelles, sans tenir compte de l'introduction des titres nouveaux et des augmentations de capital. Pour 1905, la plus-value avait été de 5,62 p. c.

Il est curieux qu'une tension monétaire si aiguë se soit manifestée bien que, dans les dernières années, la production de l'or soit allée en grandissant pour arriver à dépasser 2 milliards en 1906.

Voici, à cet égard, un tableau extrait d'un rapport adressé, en 1906, au ministre des Finances, à Paris, par l'Administration des Monnaies et Médailles.

Production de l'or en millions de francs depuis 1890

Années	Production	Années	Production	Années	Production
—	—	—	—	—	—
1890	615,9	1895	1030,1	1900	1319,2
1891	677,1	1896	1048,2	1901	1352,6
1892	760,0	1897	1223,5	1902	1537,9
1893	816,2	1898	1486,8	1903	1689,4
1894	938,9	1899	1589,6	1904	1797,8
				1905	1951,0

La production de 1906 peut, approximativement, se décomposer comme il suit :

Pays de production	Production en millions de livres sterling
—	—
Afrique australe	26
Australie	16 5/10
Canada	2 4/10
États-Unis d'Amérique	19 5/10
Indes Britanniques	2 1/10
Mexique	3 1/10
Russie	4 3/10
Divers	7
TOTAL	80 9/10

La production de 1906 est colossale; il y a vingt-cinq ans, la production était de 500 millions de francs; à l'époque la plus favorisée du XIXe siècle, elle n'a pas dépassé 800 millions. En 1850, le stock des métaux précieux — or et argent — pour les pays de civilisation occidentale, était de 50 milliards de francs; en 1870, il était de 68 milliards ; depuis lors, il a presque doublé : 127 milliards, en 1905. La valeur du stock serait actuellement plus considérable, si l'argent avait conservé son ancienne importance d'étalon monétaire; mais, peu à peu, le monométallisme-or — en fait, le bimétallisme boiteux de l'Union latine n'en diffère guère — est devenu prépondérant sur les autres systèmes et la production de l'argent a diminué ainsi que sa valeur.

La production de l'or ira-t-elle encore en s'accentuant? Les deux producteurs les plus récents, l'Australie de l'ouest et le Queensland, sont en déficit; on ne trouve plus dans ces pays de nouvelles mines et les anciennes s'épuisent, mais l'avenir pourrait ménager une autre situation. Au Mexique, dans la Rhodésie, l'industrie aurifère paraît destinée à de longues années de prospérité. Tout bien considéré, grâce au rendement des mines du Transvaal et des États-Unis d'Amérique, la progression ascendante de la production de l'or doit continuer un certain temps. S'il arrivait que les grandes banques fussent saturées de métal jaune et que celui-ci se répandît dans la circulation, une hausse générale des prix s'ensuivrait. Peut-être cette hausse a-t-elle déjà commencé.

A la production de l'or il y a une contrepartie : le développe-

ment économique, surtout dans les pays neufs. Il s'en faut de beaucoup que tous les besoins soient satisfaits. On lit dans le Compte Rendu de la Société générale de Belgique pour 1906 : « Il est vivement à souhaiter que cette situation — la tension monétaire — se modifie à bref délai et qu'à l'*étranger des capitaux disponibles plus abondants permettent à l'activité commerciale de prendre un nouvel élan* ». L'activité commerciale ne peut se donner libre carrière que si l'outillage économique est en rapport avec l'importance même des sources de la production. Il faut des moyens de transport, des usines, des ports, des banques; l'État et des sociétés y pourvoient, d'où une énorme demande de capitaux que représentent des titres mobiliers de toute espèce. A côté du marché commercial proprement dit existe un marché d'actions, d'obligations, de fonds publics; ce marché acquiert une importance d'autant plus grande que les peuples débordent leurs frontières et cherchent des débouchés sur tous les points de l'Univers.

De moins en moins la classique *Balance du Commerce* marque le solde des comptes internationaux. Consultons le tableau suivant relatif aux États-Unis d'Amérique :

Années —	Excédent des exportations (marchandises et argent)	Entrée d'or	Sortie d'or
	en millions de dollars		
1904	439	—	36 1/2
1905	469	3 1/2	—
1906	477	109	—

Il n'y a aucune proportion tangible entre les excédents des exportations et les entrées et les sorties d'or. La *Balance du Commerce* — en faisant abstraction des facteurs qui peuvent en fausser l'exactitude — ne renseigne pas, en effet, le mouvement des valeurs mobilières. Ainsi, ce qui a surtout favorisé les importations d'or aux États-Unis, ce sont les nouveaux emprunts américains.

Il faut beaucoup d'or pour établir solidement les fondements économiques d'un État; il en faut beaucoup si, après s'être tenu longtemps concentré sur soi-même, on regarde, comme l'a fait la puissante république anglo-saxonne, au delà de ses frontières et si l'on pratique de plus en plus « l'expansion mondiale ». Non seulement il faut de l'or pour des usines, des fabriques, des canaux, des chemins de fer, des tramways, mais encore — c'est

le cas au Brésil — pour des réformes monétaires indispensables.

En 1906, les États-Unis d'Amérique ont absorbé une masse considérable de métal jaune, la moitié de la production du monde entier ; ils en ont, en effet, extrait de leurs mines pour 500 millions de francs, qu'ils paraissent avoir gardés, et ils en ont importé pour environ autant (1). L'Égypte, dont la prospérité s'affirme et dont l'établissement économique exige chaque jour de nouvelles mises de fonds, a demandé beaucoup d'or en 1906. Je ne possède pas tous les éléments pour déterminer exactement ce que les différents pays ont importé et exporté d'or au cours de l'année dernière et ce qu'ils ont retenu des quantités qu'ils ont produites.

Si la tension monétaire a apporté au commerce et à l'industrie certaines entraves, il convient cependant de remarquer que, par ailleurs, on a joui en 1906 d'une prospérité exceptionnelle dont les effets se continuent encore. Le mouvement des

(1) Balance des exportations et des importations d'or aux États-Unis d'Amérique depuis 1890 (dollars).

Années	Excédent des exportations	Excédent des importations
—	—	—
1890	3 683 652	
1891	33 889 688	
1892	58 380 272	
1893	6 703 151	
1894	80 499 128	
1895	70 571 010	
1896		46 474 369
1897	253 589	
1898		141 958 998
1899		5 955 553
1900		12 614 461
1901	3 022 059	
1902		8 162 726
1903		20 920 862
1904	36 408 593	
1905		3 498 938
1906		108 990 369
Totaux :	293 411 142	348 576 276
		293 411 142
		55 165 134

affaires a été considérable. Partout, le commerce extérieur s'est étendu; les recettes des organismes de transport, les revenus publics se sont élevés. Le prix des métaux a poursuivi sa marche ascensionnelle (1) et la grande industrie a dû consentir à une majoration des salaires. Un exemple entre cent : le chiffre global des opérations de la Société Générale de Belgique qui, en 1905, avait été de 12 854 040 604 fr. 08, a été de 17 milliards 915 932 720 fr. 32 en 1906. Le bénéfice total des charbonnages patronnés par la Société a augmenté, en 1906, de 67,93 p. c. par rapport à l'année précédente, surtout parce que le bénéfice à la tonne s'est notablement accru, car les salaires ont été majorés de 11,72 p. c. et la production n'a été augmentée que de 10,18 p. c.

Certains ont trouvé la mariée trop belle, estimant qu'il y avait, pour ainsi dire, excès de prospérité et, dans les manifestations d'ordre économique que je viens de signaler, ont aperçu les prodromes d'une crise prochaine. Des économistes de renom conseillent la prudence. Le moins possible, en portefeuille, d'actions à revenus variables, dont les cours, si la crise éclate, peuvent descendre rapidement des hauteurs de la cote, mais plutôt de bonnes et solides obligations dont on vivra modestement en attendant des jours meilleurs.

On n'a pas manqué de rappeler la loi de Juglar relative à la périodicité des crises. M. G. de Laveleye a examiné cette question dans le MONITEUR DES INTÉRÊTS MATÉRIELS et il ne s'est pas rangé, tant s'en faut, du côté des pessimistes. Tout d'abord, la loi de Juglar n'est qu'approximative et ne trouve une application suffisante que dans la seconde moitié du XIX[e] siècle. D'autre part, les périodes de crise n'ont pas toutes un même caractère accentué. Examinons le tableau suivant relatif à la Banque de France :

(1) Prix comparatif des métaux :

Fin	1904,	acier	113	francs	à la	tonne ;	fin 1906,	163	francs	à la tonne.
»	1904,	fonte	62	»	»	»	»	78	»	»
»	1902,	cuivre	1300	»	»	»	»	2650	»	»
»	»	zinc	380	»	»	»	»	680	»	»
»	»	plomb	275	»	»	»	»	505	»	»
»	»	antimoine	1000	»	»	»	»	3000	»	»
»	»	étain	3000	»	»	»	»	5370	»	»

Années	Crise Portefeuille commerc. millions de francs	Crise Encaisse millions fr. (1)	Reprise Portefeuille commerc. millions fr.	Reprise Encaisse millions fr. (1)
—	—		—	
1847	250	100		
1852			100	600
1857	650	180		
1859			350	650
1861	750	180		
1868			400	860
1873	1250	560		
1877			380	1550
1882	1403	700		
1886			460	1400
1891	1380	1100		
1895			350	2100
1900	1450	1850		
1903			360	3000

Aux époques de crise, le portefeuille augmente et l'encaisse diminue. Cependant, toutes proportions gardées, les variations des encaisses, depuis quelque vingt ans, se sont affaiblies. D'autre part, si on poursuit, au delà de 1903, l'examen de la situation de la Banque de France, on constate que l'encaisse, au lieu de diminuer, comme le voudrait la loi de Juglar, en même temps que le portefeuille augmente, augmente aussi. Cette remarque est certes suggestive. Les crises auraient donc une tendance à s'atténuer. On navigue en eaux plus profondes, la masse à déplacer par la tourmente s'amplifie et s'alourdit et les dommages n'atteignent que sa surface. Les apparences induisent en erreur; on croit à un bouleversement complet du domaine économique et néanmoins le calme continue à régner dans son sein.

Je note cependant que l'exemple est favorable à la thèse; il s'agit de la Banque de France dont le colossal stock monétaire est fait pour lui assurer une stabilité exceptionnelle. Il n'en est pas moins vrai que le rôle de l'or comme instrument d'équilibre économique est démontré. Le perfectionnement incessant des moyens de transport a permis de donner aux marchandises une circulation rapide et de constituer de vastes approvisionnements; depuis lors le monde civilisé ne connaît plus les affreuses famines du temps passé, ni les ruines irrémédiables causées par l'arrêt de certaines industries. Il semble que, dans l'histoire de l'humanité, la constitution de stocks métalliques

(1) A partir de 1868, l'encaisse *or* est seul considérée.

de plus en plus puissants doive jouer un rôle non moins remarquable. La vie financière et commerciale y trouvera un facteur essentiel de sécurité et les moyens de répondre sans contrainte aux impulsions les plus efficaces à la prospérité des nations (1).

Tables de mortalité et de survie. — Mortalité infantile (2). Le service de la statistique générale de la France a annexé, sous forme d'appendice, à la statistique annuelle de la population pour l'année 1904, des renseignements nombreux et circonstanciés relatifs au mouvement de la population en divers pays au cours de la seconde moitié du XIX[e] siècle. Cet appendice comporte un texte quatre fois plus étendu que celui consacré à la partie française du volume; je n'en ferai pas une analyse complète, me bornant à en extraire la matière d'une notice sur les Tables de mortalité et de survie et sur la mortalité infantile.

I. — Tables de mortalité et de survie

On peut ramener à trois groupes principaux les méthodes de calcul des tables de mortalité et de survie :

1° Emploi des relevés annuels des décédés classés par âge;

2° Emploi des relevés annuels des décédés classés par âge, combinés avec les statistiques des naissances;

3° Emploi simultané du classement annuel des décédés par âge, et du classement des vivants, suivant l'âge, d'après les recensements ou les registres de population.

C'est dans cet ordre que les méthodes ont été créées et perfectionnées.

La première méthode consiste à retrancher, successivement, du total des décès enregistrés pendant une certaine période le nombre des décès des personnes âgées de 1 an, de 2 ans,

(1) Cette note a été rédigée au moment où la tension monétaire s'atténuait de plus en plus et semblait être près de sa fin. Une recrudescence s'est produite; une crise boursière, d'origine américaine, a eu de fâcheuses conséquences au point de vue du marché financier européen et la Banque de France a élevé son escompte de 3 à 3 1/2 p. c. Tout cela n'infirme en rien les considérations générales de la note et marque le prolongement des phénomènes dont elle s'occupe.

(2) République française. — *Statistique annuelle du mouvement de la population,* année 1904, t. XXXIV, 1 vol. in-8°, XL-598 pages, 6 graphiques. — Paris, Imprimerie nationale, 1906.

de 3 ans, etc. Tous ces nombres sont ensuite réduits proportionnellement de façon à prendre 1000 comme chiffre initial. Cette méthode pour être rigoureuse exigerait que :

1° Le nombre annuel des naissances fût invariable ;

2° La mortalité à chaque âge restât la même pendant toute la durée de l'observation ;

3° La composition de la population ne fût pas troublée par l'émigration et l'immigration.

La première table dressée d'après cette méthode est celle de Halley ; elle date de 1693 et se rapporte à 1174 décédés enregistrés à Breslau de 1687 à 1691.

Euler, en 1740, a imaginé une formule applicable à une population qui augmente ou décroît en progression géométrique. Cette formule fut employée par Liagre pour les décès relevés en Belgique de 1841 à 1850; M. Leclerc en a fait usage aussi pour l'une des tables qu'il a publiées en 1905, en considérant les décès de la période 1891-1900.

La deuxième méthode consiste essentiellement en ceci : « On prend sur les registres des naissances et des morts un grand nombre d'enfants que l'on suit pendant le cours de leur vie, en déterminant combien il en reste à la fin de chaque année. » Laplace, *Essai philosophique sur les Probabilités*. Paris, 1816. — La méthode est simple en principe, mais d'une application difficile. Il faut que la statistique fasse connaître non seulement l'âge des décédés, mais encore le millésime de leur année de naissance. On ne tient pas compte de l'émigration et de l'immigration qui apportent des perturbations dans la population. On peut, il est vrai, supprimer l'effet des mouvements migratoires en n'observant, au lieu d'une génération complète, que les personnes appartenant à cette génération qui meurent dans le pays. On élimine ainsi les émigrants et, d'autre part, les immigrants en ne comptant pas leurs décès. Mais les tables établies suivant ce procédé ne se rapportent plus à la population totale.

Une des premières applications de la deuxième méthode est due au Dr Hermann, directeur du Bureau de la statistique de Bavière qui, à partir de 1834, fit établir le classement annuel des décédés par années d'âge. Le travail fut continué jusqu'en 1867.

La troisième méthode a détrôné les deux premières; elle repose généralement sur la comparaison du nombre annuel des décédés de chaque âge au nombre des individus vivants du même âge. Le rapport de ces deux nombres est pris, sauf correction,

comme taux de mortalité à cet âge; on déduit facilement de ce taux de mortalité le nombre de survivants et celui de décédés afférents à chaque âge pour un effectif initial de 1000 ou 100 000 nés vivants.

Cette méthode, dite méthode démographique, a été appliquée pour la première fois en Suède, vers le milieu du XVIII[e] siècle, par l'astronome Wargentin, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences de Stockholm. La table de Wargentin, publiée en 1766, fut construite à l'aide des relevés des décès de 1757 à 1763 et des recensements de la population suédoise de 1757, 1760 et 1763. La méthode se répandit assez lentement, parce que pendant la première moitié du XIX[e] siècle les recensements ne fournissaient que rarement le classement par âge des habitants. Quetelet l'appliqua, en Belgique, aux décès relevés de 1840 à 1851 et au recensement du 15 octobre 1846, le premier qui ait donné le classement par âge de la population belge. A la suite de Quetelet, de nombreux statisticiens appliquèrent la méthode démographique en lui apportant de précieux perfectionnements; citons : von Baumhauer (Pays-Bas), W. Farr (Angleterre), Th. Berg (Suède), A.-N. Riœr (Norwège), Engel et Becker (Prusse), D[r] Bertillon père (France).

Si l'on rapporte, comme l'a fait Quetelet, le nombre annuel moyen des décédés d'un certain âge au nombre des vivants du même âge recensé au milieu de la période considérée, on obtient un taux de mortalité qui ne fournit qu'une valeur approximative de la probabilité de mort à cet âge. Pour obtenir un coefficient assimilable à une probabilité, il faut rapporter le nombre des décès observés dans un groupe d'individus d'une catégorie d'âge au nombre des individus qui ont été soumis au risque de mort durant le temps qui sépare leur entrée et leur sortie de cette catégorie d'âge. Le calcul d'un semblable coefficient n'est possible que si les vivants et les morts sont l'objet d'un double classement par année de naissance et par année d'âge. Pour les vivants les deux classements coïncident si le recensement a lieu le 1[er] janvier, sinon, on déduit la population au 1[er] janvier des résultats du recensement en tenant compte des naissances, des décès, ainsi que de l'émigration et de l'immigration.

Lorsque le double classement des décédés fait défaut, on peut obtenir une valeur approchée de la probabilité de mort à un âge déterminé en rapportant le nombre de décédés de cet âge enregistré dans l'année au chiffre de la population de cet âge, recensée ou calculée au 1[er] janvier, augmentée de la moitié du nombre des décès.

Ce mode de calcul repose sur certaines hypothèses simplificatrices et suppose, en particulier, que le taux de mortalité reste constant au cours de chaque année d'âge. Il n'en est pas ainsi aux âges extrêmes de la vie ; une correction supplémentaire est alors nécessaire. Pour la première année le taux de mortalité n'est pas calculé à l'aide de la population recensée, mais d'après le chiffre des nés vivants. Le plus souvent, d'ailleurs, on ne se borne pas à calculer un coefficient s'appliquant à la première année de vie tout entière, mais on détermine des coefficients mensuels et même, pour le premier mois, des coefficients se rapportant à des périodes de cinq ou dix jours suivant les matériaux fournis par les statistiques de l'état civil.

Un exemple fera comprendre la façon dont les calculs des tables de mortalité et de survie sont pratiquement effectués dans le système démographique.

Soit à déterminer la probabilité de mort de 20 à 21 ans d'une population p recensée le 1er janvier 1901. Il faut connaître le nombre d' des individus nés en 1880 et décédés en 1900 entre 20 et 21 ans et celui d'' des individus nés la même année et décédés entre 20 et 21 ans en 1901. Le nombre des individus nés en 1880 et ayant dépassé l'âge de 20 ans sera $p + d'$ et le nombre des individus nés en 1880 et morts entre 20 et 21 ans sera $d' + d''$. Le coefficient cherché sera donc $\frac{d' + d''}{p + d'}$.

Les indications précédentes ne suffisent pas à donner une idée complète des difficultés de l'établissement des tables de mortalité et de survie. Les listes numériques, classement par âge des décès et classement par âge des vivants, qui servent au calcul de la probabilité de mort à chaque âge, ne sont pas employées directement à la détermination de ces coefficients. Elles sont soumises à certaines corrections qui dépendent du mode d'établissement des statistiques, des mouvements migratoires, etc. Après ces corrections, les coefficients sont calculés et les nombres bruts qui les représentent sont parfois corrigés à leur tour ; leur série est ainsi l'objet d'un ajustement.

Les tables de mortalité et de survie qui ont été construites pour la population totale des principaux pays d'Europe, sont les suivantes :

Angleterre et pays de Galles. — Tables de W. Farr : table n° 1 — bases : recensement de 1841, décès de 1841 ; — table n° 2 — bases : recensements de 1831 et de 1841, décès des sept années 1838-1844 ; — table n° 3 — bases : recensements de 1831, de 1841 et de 1851, décès des dix-sept années 1838-1854.

Table du Dr Ogle. — Bases : recensements de 1871 et de 1881, décès de 1871 à 1880.

Table du Dr J. Tatham. — Bases : recensements de 1881 et de 1891, décès de 1881 à 1890.

Écosse. — Quatre séries de tables établies pour chaque sexe séparément et pour les sexes réunis. — Bases : recensements de 1871, de 1881, de 1891 et de 1901, décès des périodes 1861-1870, 1871-1880, 1881-1890, 1891-1900.

Danemark. — Deux tables de mortalité, l'une pour la période 1885-1894, l'autre pour la période 1895-1900.

Norwège. — Quatre tables de mortalité et de survie calculées par A.-N. Kiœr. Bases : recensements du 31 décembre 1855 et du 31 décembre 1865, décès des dix années 1856-1865 — recensement du 31 décembre 1875, décès des années 1871-72 à 1880-81 — recensements du 31 décembre 1875 et du 1er janvier 1891, décès des années 1881-82 à 1891-92 — recensements du 1er janvier 1891 et du 3 décembre 1900, décès des années 1891-92 à 1900-1901.

Suède. — Table de Wargentin. Bases : décès de 1757 à 1763, recensements de 1757, 1760 et 1763.

Tables de Th. Berg — séries de tables calculées pour chaque sexe et pour les sexes réunis et se rapportant aux périodes 1816-1840, 1841-1845, 1846-1850, 1851-1855, 1841-1855. — Tables de Th. Berg pour les périodes 1856-1860 et 1861-1870. — Tables d'Elis Sidenbladh pour les périodes 1871-1880 et 1881-1890. — Tables pour la période 1891-1900.

Finlande. — Table de mortalité pour la période 1881-1890.

Autriche. — Table de M. Bodio pour la période 1880-1882. — Table pour la période 1900-1901. Bases : recensement du 31 décembre 1900, décès de 1900 et 1901.

Suisse. — Table calculée d'après le recensement du 1er décembre 1880 et les décès de 1876-1877 à 1880-1881. — Table calculée d'après les recensements du 1er décembre 1880 et du 1er décembre 1888 et les décès des huit années 1881-1888.

Empire allemand. — Table calculée d'après le recensement du 1er décembre 1880 et les décès de 1871-1872 à 1880-1881.

Prusse. — Tables de Becker. Bases : naissances de 1849 à 1869 ; recensements de 1858, 1860, 1864 ; décès de 1850 à 1864 pour les décédés de dix ans et moins ; décès de 1859 à 1864 pour les

décédés de plus de dix ans; statistiques de l'émigration et de l'immigration de 1859 à 1864. — Tables pour chacune des années 1867, 1868, 1872 publiées dans le volume *Rückblick auf die Bewegung der Bevölkerung in preussichen Staat vom 1816 zum 1874*, rédigé par von Fircks sous l'autorité du Dr Engel. — Tables du *Manuel* statistique de l'État prussien (1888) calculées à l'aide des tables précédentes et de tables antérieures pour les années 1867, 1868, 1872, 1875, 1876, 1877. — Table du *Rückblick auf die Entwickelung der preussichen Bevölkerung von 1875 bis 1900*, von Max Broesike, calculée d'après le recensement du 1er décembre 1890 et les décès des années 1890 et 1891. — Tables de l'*Annuàire* statistique de l'État prussien pour 1905, l'une pour la période 1891-1900, l'autre pour les deux années 1900 et 1901.

Bavière. — Tables du Dr Hermann, dressées à l'aide du relevé des naissances et des décès par année d'âge de 1835 à 1867. — Table du Dr Georg. Mayr. Bases : recensement du 1er décembre 1875, décès de 1876.

Saxe. — Tables du Dr Zeuner. Bases : recensements des années 1880, 1885, 1890, 1895 et 1900; décès de l'année même de chacun des recensements et de l'année suivante.

Wurtemberg. — Table publiée dans les *Confronti internazionali*, tome II, 1897.

Berlin. — Tables du Bureau statistique de la ville de Berlin, publiées chaque année depuis 1876.

Hambourg. — Tables publiées dans le volume *Statistik des Hamburgischen Staates*, Heft XV, 1894, pour chacune des années de recensement 1872, 1876, 1881, 1886, 1891.

Breslau. — Tables pour les périodes 1881-1885, 1886-1890, 1891-1895, 1896-1900, publiées dans le 22e volume de la statistique de Breslau (1903).

Pays-Bas. — Tables de von Baumhauer pour la période 1840-1851, construites de plusieurs manières différentes. — Tables de von Baumhauer pour la période 1850-1859. Bases : recensements des 31 décembre 1849 à 1859, décès de la période 1850-1859. — Tables de M. G. de Bosch Kemper pour la période 1860-1869. — Tables de M. Van Pesch pour la période 1870-1879. — Tables de

M. Van Pesch pour la période 1880-1889. Bases : recensements des 31 décembre 1879 et 1889, décès des dix années 1880-1889.

Belgique. — Table de Quetelet, d'après les listes des décès par âge de 1841 à 1845 en supposant la population stationnaire. — Table de Liagre, d'après les décès de 1841 à 1850 en supposant la population croissant en progression géométrique de raison 1,0062. — Tables de Quetelet calculées, l'une d'après le recensement du 15 octobre 1846 et les décès de 1841 à 1850, l'autre, d'après le recensement du 31 décembre 1856 et les décès de 1845 à 1856. — Tables de M. Leclerc, calculées au moyen de diverses méthodes, d'après les recensements de 1880 et de 1890 et les décès des dix années 1881-1890. — Tables de M. Leclerc, d'après les recensements de 1890 et de 1900 et les décès de 1892 à 1900.

France. — Table de Demonferrand, d'après les décès de 1817 à 1831. — Tables du Dr Bertillon père, calculées, l'une, d'après la moyenne des recensements de 1851, 1856 et 1861 et les décès de 1840 à 1859, l'autre, d'après les recensements de 1856, 1861 et 1865 et les décès de 1856 à 1865. — Tables construites par le service de la statistique générale de la France. Bases : recensements de 1861 et 1866, décès des cinq années 1861-1865; recensements de 1876 et de 1881, décès de la période 1877-1881 ; recensement du 24 mars 1901, décès de 1898 à 1903.

Italie. — Table calculée d'après le recensement du 31 décembre 1881 et les décès des dix années 1876-1887. — Table calculée d'après le recensement du 10 février 1901 et les décès des quatre années 1899-1902. — Diverses tables calculées par M. Bodio (*Confronti Internazionali*, tome II, 1897).

Espagne. — Table de M. de Bona, calculée d'après le recensement de 1860 et les décès de 1858 à 1863. — Tables de M. Bodio pour la période 1880-1881 et pour la période 1878-1882.

Il convient de renseigner encore les tables suivantes :

Massachusetts.— Table calculée d'après le recensement de 1895 et les décès des cinq années 1893-1897.

Nouvelle-Galles du Sud — Table de M. T.-A. Coghlan, calculée à l'aide du recensement du 5 avril 1891 et des décès enregistrés du 1er avril 1890 au 31 mars 1892.

Australie occidentale. — Table calculée d'après le recensement du 31 mars 1901 et les décès enregistrés du 1er octobre 1899 au 30 septembre 1902.

Une table de survie et de mortalité permet d'apprécier aux divers âges la vitalité de la population à laquelle elle se rapporte, soit par les quotients de mortalité, soit par les nombres de survivants. Elle peut encore servir à déterminer la durée moyenne de la vie humaine depuis la naissance, ou à partir d'un âge quelconque. La meilleure évaluation de cette durée est celle que l'on appelle espérance de vie (d'après l'expression anglaise : *expectation of life*) et parfois aussi vie moyenne.

L'espérance de vie ou vie moyenne est le temps qu'aurait à vivre chacun des individus d'un âge donné, si la somme totale des années qu'ils ont encore à vivre à eux tous était également répartie entre eux. C'est l'application de la définition de l'espérance mathématique telle que l'a donnée Nicolas Bernoulli.

Les calculs servant à la détermination de la vie moyenne étant assez longs, on a proposé, pour apprécier la vitalité à un certain âge, un autre coefficient, la vie probable.

La vie probable à un âge quelconque est le temps nécessaire, d'après la liste de survie, pour que l'effectif des survivants à cet âge soit réduit de moitié. Ce qui revient à dire que les probabilités de survie ou de mort, au bout de ce temps, sont égales.

Les tables de mortalité et de survie permettent d'apprécier et de comparer la vitalité de populations différentes à diverses époques à l'aide des éléments suivants : 1° Quotients de mortalité à chaque âge; 2° nombre de survivants; 3° espérance de vie; 4° vie probable. Avant d'indiquer sommairement quelques-unes des observations intéressantes que l'on peut ainsi faire, il importe de formuler des réserves : Les comparaisons possibles n'ont pas toutes la même valeur, à cause de la diversité des méthodes employées pour la construction des tables de mortalité et de survie dans les divers pays. S'il est assez légitime de rapprocher les résultats obtenus dans un même pays, à des époques successives, par des méthodes de calcul qui ont pu être perfectionnées mais sont restées les mêmes en principe, on ne saurait tirer des conclusions aussi précises de la comparaison de chiffres élaborés dans les divers pays par des procédés très différents, à l'aide d'éléments statistiques offrant de très inégales garanties d'exactitude. Il faut ajouter, de plus, que certaines tables de survie sont constituées par les résultats bruts du calcul, alors que d'autres ont subi un ajustement.

Nombre de survivants à chaque âge. — Le nombre des garçons survivants, à 20 ans, présente un intérêt particulier à cause du service militaire. Voici un tableau comparatif pour divers pays :

Pays	Nombre de survivants à 20 ans sur 100 000 garçons nés vivants	Périodes d'observation
—	—	—
Norwège. . . .	77 698	1891-1900
Suède	77 358	1891-1900
Danemark . . .	76 709	1895-1900
Écosse	72 577	1891-1900
France	72 948	1899-1903
Belgique. . . .	72 214	1891-1900
Suisse	71 310	1881-1888
Angleterre . . .	71 256	1881-1890
Pays-Bas. . . .	66 722	1881-1890
Italie	66 524	1898-1902
Prusse	65 758	1891-1900
Finlande. . . .	65 546	1881-1890
Empire allemand . .	59 287	1872-1880

L'écart entre les chiffres du tableau provient surtout du degré de la mortalité infantile dans les différents pays. L'Empire allemand doit être exclu de la comparaison, la période d'observation qui le concerne ne concordant pas suffisamment avec les autres.

Le nombre de femmes survivantes, à 20 ans, est sensiblement plus élevé que celui des hommes du même âge; jusque vers 15 ans, en effet, la mortalité des filles est plus faible que celle des garçons. Le nombre des femmes survivantes, à 20 ans, sur 100 000 nées vivantes varie de 68 000 à 80 000.

A 30 ans, il reste de 60 000 à 72 000 hommes et de 62 000 à 74 000 femmes. Les variations, de pays à pays, sont à peu près les mêmes que pour l'âge de 20 ans. A 60 ans, commencement de la vieillesse, ces variations s'accentuent; 38 000 à 52 000 hommes ont survécu et 44 000 à 56 000 femmes. A 80 ans, les écarts sont encore plus grands; le nombre des survivants varie de 6630 à 17 887 pour les hommes et de 7930 à 22 606 pour les femmes.

D'une façon générale, on peut remarquer que l'augmentation de la vitalité au XIXe siècle a été beaucoup plus considérable pour l'âge mûr et pour la vieillesse que pour l'enfance.

Quotients de mortalité à chaque âge. — En ce qui concerne les périodes d'observation les plus récentes, on constate, pour les deux sexes, une diminution très rapide du quotient de mortalité à partir de la naissance jusqu'à un âge compris entre 10 et 14 ans. Puis, pour le sexe masculin, accroissement rapide jusqu'à un âge compris entre 20 et 25 ans avec lequel, dans certains

pays, coïncide un maximum relatif. Pour le sexe féminin, un maximum relatif se remarque entre 20 et 30 ans. A partir de 36 ans, le quotient de mortalité s'accroît progressivement; après 50 ans, il devient de plus en plus rapide.

Le fait le plus saillant est la très forte mortalité, en Norwège, des hommes de 15 à 30 ans, fait assez surprenant car la Norwège partage avec la Suède le privilège de la plus basse mortalité générale des pays européens. Cette basse mortalité est due à la vitalité des enfants au-dessous de 5 ans et des adultes de plus de 40 ans.

Espérance de vie ou vie moyenne. — La vie moyenne, calculée pour chaque année d'âge, augmente peu à peu à partir de la naissance jusque vers 3, 4 ou 5 ans; après avoir atteint ce maximum, elle décroît ensuite rapidement. A tous les âges l'espérance de vie est, en général, plus grande pour le sexe féminin que pour le sexe masculin.

Vie moyenne à la naissance, d'après les tables les plus récentes

Pays	Sexe masculin	Sexe féminin
—	—	—
Suède	50,94	53,63
Norwège	50,41	54,14
Danemark	50,20	53,20
Belgique	45,35	48,85
Écosse	44,68	47,44
Angleterre	43,66	47,18
Suisse	43,29	45,70
Italie	42,85	43,15
Pays-Bas	42,50	45,00
Prusse	42,07	45,84

Vie probable. — La vie probable augmente à partir de la naissance et passe par un maximum, en général un peu plus tôt que l'espérance de vie, soit vers 2 ou 3 ans; elle diminue ensuite rapidement et uniformément. La vie probable à la naissance est supérieure de plusieurs années à l'espérance de vie, 6 à 10 ans environ suivant les pays; elle reste plus élevée jusque vers 50 à 60 ans, l'écart allant en diminuant progressivement. C'est ensuite l'espérance de vie qui a la plus grande valeur et l'écart s'accentue en sens inverse.

Vie probable à la naissance, d'après les tables les plus récentes

Pays	Sexe masculin	Sexe féminin
—	—	—
Danemark	60,80	65,10
Suède	60,70	65,50
Norwège	59,85	65,22
Belgique	54,70	60,20
France	54,02	59,51
Italie	52,90	53,20
Angleterre	51,70	56,50
Suisse	51,20	55,30
Pays-Bas	51,00	54,60
Prusse	49,40	55,78
Autriche	41,42	45,28

II. — *Mortalité infantile*

L'étude de la mortalité infantile est d'un très vif intérêt, mais elle présente de grandes difficultés lorsque la comparaison doit porter sur des pays différents. Le degré d'exactitude des statistiques n'est pas partout équivalent. Les délais en matière de déclaration de naissances sont variables; en Belgique, par exemple, on accorde trois jours, en Angleterre, jusque trois mois. Tantôt les mort-nés ne sont pas inscrits, tantôt on considère comme tels les enfants nés vivants mais morts avant la déclaration de naissance. Le nombre des décès d'enfants de moins d'un an se trouve ainsi diminué dans des proportions notables; ainsi, en Belgique, pendant la période 1891-1900, on a enregistré comme mort-nés 8766 enfants dont 1448 avaient vécu un, deux ou trois jours. Dans certains pays on ne considère pas comme mort-nés les enfants qui auraient respiré, ne fût-ce que quelques instants.

Pour l'étude de la mortalité infantile, on compare le nombre des décès d'enfants de moins d'un an à celui des enfants de moins d'un an, d'après le recensement, ou au nombre annuel des enfants nés vivants. Le calcul exact du second terme de la comparaison n'est pas possible, mais, des deux éléments considérés, c'est le nombre annuel des enfants nés vivants qu'il convient de choisir, sa détermination étant susceptible d'une plus grande précision.

Pour la période d'observation 1896-1900, la mortalité infantile est le plus faible dans les pays scandinaves. C'est dans ces pays, d'ailleurs, que la mortalité générale est le moins élevée et l'on peut dire que partout ces deux phénomènes sont corrélatifs.

Sur 1000 enfants nés vivants il en meurt de 0 à 1 an : en Norwège, 96 ; en Suède, 100 ; en Danemark, 132 ; en Finlande, 139 ; en Irlande, 106 ; en Écosse, 129 ; en Suisse, 143 ; dans les Pays-Bas, 151 ; en Angleterre et dans le Pays de Galles, 156 ; en Belgique et en France, 158 ; en Italie, 168 ; en Prusse, 201 ; en Hongrie, 219 ; en Autriche, 226 ; dans le Wurtemberg, 233 ; en Bavière, 257 et en Saxe, 266.

La mortalité infantile est en diminution dans tous les pays d'Europe, sauf dans le Royaume-Uni, en Irlande, en Danemark et en Belgique. La diminution est rapide, en Prusse excepté, dans les divers États de l'Empire allemand, surtout en Bavière et dans le Wurtemberg.

Pendant la première année de la vie on compte plus de décès parmi les garçons que parmi les filles ; le nombre des garçons décédés l'emporte en moyenne de 20 p. c. sur celui des filles, c'est-à-dire, qu'il y a en moyenne 120 garçons décédés pour 100 filles.

Les risques de mort des enfants illégitimes sont dans tous les pays beaucoup plus élevés au cours de la première année, que ceux des enfants légitimes. Ainsi pour 100 enfants légitimes, il meurt 136 enfants illégitimes en Autriche, 138 dans le Wurtemberg, 139 en Bavière, 141 en Finlande, 145 en Saxe, 147 en Italie, 154 dans le Grand-Duché de Bade, 156 en Belgique, 158 dans les Pays-Bas, 163 en Suisse, 171 en France, 178 en Suède, 187 en Prusse, 199 en Norwège.

Sur 100 000 nés vivants, le nombre de ceux qui meurent dans le premier mois de leur naissance varie de 333 à 980. La mortalité pendant ce premier mois est énorme, ce qui apparaît lorsqu'on la compare à la mortalité de la première année tout entière.

Nombre d'enfants morts sur 100 000 nés vivants pendant le premier mois et pendant la première année de la naissance

Pays	Morts pend^t le 1er mois	Morts pend^t la 1re année	Pays	Morts pend^t le 1er mois	Morts pend^t la 1re année
Suède	333	1005	G^d-Duch. Bade	651	2120
Pays-Bas	344	1503	Saxe	684	2652
Norwège	350	960	Russie	708	2591
Belgique	413	1579	Wurtemberg	807	2333
Danemark	424	1322	Autriche	872	2263
Finlande	432	1388	Hongrie	915	2189
France	535	1584	Bavière	917	2571
Prusse	601	2012	Roumanie	977	2211
Italie	623	1683			

Du premier au deuxième mois la diminution de la mortalité est considérable, beaucoup moins importante du deuxième au troisième; ensuite, elle ne diminue plus que lentement jusqu'à la fin de l'année. Voici les chiffres pour la Belgique :

Nombre d'enfants morts sur 100 000 nés vivants pendant

le 1er mois	le 2e mois	le 3e mois	les 4e, 5e et 6e mois	les 7e, 8e, 9e 10e, 11e et 12e mois	la 1re année
413	200	173	367	426	1579

B.

BOTANIQUE INDUSTRIELLE

Le Caoutchouc. — C'est en 1536 que, pour la première fois, Gonzalo Fernandès d'Oviedo parle incidemment du caoutchouc; les renseignements très peu précis que l'on possédait alors se rapportent à des jeux dans lesquels les Indiens employaient des boules élastiques formées de « caoutchouc ».

En 1736, La Condamine envoie à l'Académie des Sciences de Paris un rouleau obtenu pour la coagulation du latex d'un *Hevea*, que, un peu plus tard, Fuset-Aublet désigne sous le nom de *Hevea guyanensis* (1764).

Ce fut la première espèce caoutchoutifère décrite, mais on était loin de penser à cette époque que des espèces voisines de cet *Hevea* acquerraient une valeur considérable et deviendraient, pour la culture, la source d'immenses richesses. D'ailleurs, on ne songea guère, dans les premières années qui suivirent la découverte de ce produit, à en tirer parti; et on le considéra longtemps comme un objet curieux, à placer dans les musées, mais sans grande valeur pour l'industrie. Actuellement, il n'est peut-être pas de produit qui trouve plus d'emploi que le caoutchouc et sa valeur ne cesse d'augmenter de jour en jour.

Ce fut un chimiste anglais qui, complétant quelques recherches faites, un peu avant lui, par des chimistes français, attira l'attention sur quelques-unes des propriétés du caoutchouc, entre autres sur celle d'effacer par frottement les traits tracés au crayon sur le papier.

C'est à la suite de cette découverte que le nom de « India Rubber », donné à de petits blocs de produit brut (frotteur indien), resta appliqué au caoutchouc.

En 1820, une première étape de l'industrie caoutchoutifère est franchie par Nadier, qui arrive à faire des fils de caoutchouc, appelés « élastiques » ; et en 1839, le célèbre Américain découvre la méthode de vulcanisation du caoutchouc. A partir de cette époque, l'industrie est vraiment fondée ; la vulcanisation permet l'emploi du caoutchouc dans une foule de circonstances, et transforme la matière première, plus ou moins altérable, en une substance dont la durée, sans être illimitée, est cependant très allongée.

A partir de ce moment aussi, la demande toujours croissante de caoutchouc stimule les recherches, et l'on voit petit à petit tous les continents rivaliser d'activité pour la production de la gomme élastique. Tous les continents tropicaux et subtropicaux possèdent, en effet, des essences laticifères, à latex contenant du caoutchouc, mais toutes ces essences sont loin d'être équivalentes tant au point de vue de la quantité que de la qualité du produit qu'elles fournissent.

Malgré toutes les recherches faites jusqu'à ce jour, on n'est pas encore parvenu à détrôner les *Hevea*, ce sont eux qui fournissent soit à l'état sauvage, soit à l'état cultivé, la première qualité de caoutchouc, et c'est de leur principal pays d'origine, le Brésil, que provient encore la plus forte quantité du produit, qui, dans sa totalité, n'est pas de qualité première.

Le Brésil possède un grand nombre d'espèces du genre *Hevea* capables de donner du caoutchouc, mais en dépit de nombreuses expéditions, malgré les travaux exécutés par des botanistes résidant à demeure dans la région, nos connaissances relatives à l'origine botanique des divers caoutchoucs brésiliens sont encore peu précises. Dans la région de l'Amazone et de ses affluents, ce sont principalement des *Hevea* qui fournissent le caoutchouc, mais les recherches du Dr Ule ont démontré qu'à côté des *Hevea*, des *Sapium* (Euphorbiacées) et des *Castilloa (C. Ulei)* interviennent dans une certaine proportion et que, parfois, on peut considérer le produit du *Micrandra syphonoides* comme entrant dans le commerce.

Dans le Ceara, le Piauhy, le Rio Grande del Norte, les *Hevea* sont remplacés par les *Manihot Glaziovii* et *violacea*, appelés Cearas ou Maniçobas. Comme les *Hevea*, ils ont été transportés dans les autres régions tropicales, mais les résultats culturaux

ont été beaucoup moins brillants avec les *Manihot* qu'avec les *Hevea;* les raisons de cet insuccès sont vraisemblablement multiples et nous ne pouvons nous y arrêter ici. Ce qu'il convient en tous cas de faire ressortir une fois de plus, c'est qu'avant de se lancer dans la culture en grand des espèces de ce genre, il sera utile de faire quelques essais préliminaires.

Le caoutchouc provenant des États de Pernambouc, Bahia, Minas Geraes, Goyaz, San Paulo, Maranhao, paraît être produit exclusivement par le *Hancornia speciosa,* mais le produit est de moindre valeur et la plante ne semble pas prospérer en dehors de son pays d'origine.

Outre ces diverses espèces, on signale de nouveaux producteurs brésiliens qui modifient encore les idées que l'on s'était faites sur les plantes caoutchoutifères. Ces nouvelles plantes appartiennent à une famille végétale bien connue, celle des Loranthacées, dans laquelle se classe le célèbre gui du chêne. Mais ce n'est pas dans cette forme indigène que l'on trouve du caoutchouc, c'est dans certaines formes américaines et, chose remarquable, c'est dans le fruit que le caoutchouc s'y trouve accumulé.

C'est à M. le professeur O. Warburg, de Berlin, que l'on doit la publication des documents relatifs à cette découverte intéressante à plus d'un point de vue.

C'est la première fois, en effet, que l'on signale, dans les fruits, la présence de caoutchouc en quantité suffisante pour en permettre l'extraction industrielle. De plus, dans ces fruits des Loranthacées américaines, dont la teneur en caoutchouc est considérable, ce produit n'est pas localisé dans les réseaux et les vaisseaux laticifères, mais il constitue une couche compacte enveloppant la graine unique; ce manteau, interrompu à la base du fruit et au sommet, est constitué par du caoutchouc presque pur qui atteint 20 p. c. environ du poids du fruit.

L'honneur de cette découverte, qui ouvre une ère nouvelle pour l'industrie du caoutchouc, semble devoir être rapporté à un italien, M. Giordana; mais personne ne prit garde aux indications qu'il avait fournies, jusqu'au moment où M. G. Knoop, directeur d'une société de chemins de fer au Vénézuela, expédia en Allemagne les matériaux nécessaires pour l'étude un peu plus complète de la question. Déjà cette étude a fait du chemin en Amérique, car ce pays a expédié en Europe du caoutchouc de cette provenance et on escompte là-bas, pour la saison prochaine, une exportation de 100 tonnes de ce produit.

Il existerait au Vénézuela des Loranthacées à gros fruits, à fruits moyens et à petits fruits donnant des caoutchoucs jaunes ou rouges en quantités différentes et d'inégales valeurs. L'espèce à gros fruits est le *Struthanthus syringaefolius*, l'espèce à fruits moyens, le *Phthirusa Theobromæ*; ce sont les principales. Elles paraissent assez répandues et existent, non seulement dans le Vénézuela, mais dans diverses régions de l'Amérique, en particulier au Brésil; on les rencontre vivant en parasites sur de nombreux arbres; elles s'attaquent aux caféiers et aux cacaoyers, et ont occasionné parfois, dans ces plantations, de nombreux dégâts. On a pu, dans certains cas, obtenir jusque 26 p. c. de caoutchouc, et on peut en tous cas compter sur 15 p. c. Pour obtenir 1 kilo de caoutchouc, il faut recueillir 13,5 kilos de fruits frais. Ce caoutchouc est de bonne qualité, il a été estimé de 8 fr. 75 à 10 francs le kilo.

Il est évident que ces nouveaux caoutchoutiers ont une valeur économique, et que leur culture n'est pas à dédaigner; dans certaines conditions elle pourrait devenir la source de bénéfices sérieux. Cette culture d'ailleurs n'offre pas de difficultés, car elle ne nécessitera pas l'installation de grandes plantations; des jardinets, des coins de plantations en mauvais état, lui suffiront. La multiplication se fera facilement : il suffira de placer des fruits, conservés à l'abri du soleil pendant une quinzaine de jours, dans une crevasse de la plante nourricière, et même, si le parasite pousse des suçoirs, un fragment de ceux-ci suffit pour propager la plante. Un an après le semis, la plante peut porter quelques fruits, elle est déjà très développée après deux ans. L'extraction du caoutchouc peut se faire par pilonnage, si les fruits sont mûrs; s'ils ne le sont pas, le suc que l'on peut en extraire par expression sera coagulé par un réactif et livrera ainsi le caoutchouc qu'il renferme. Un autre avantage de cette plante, est qu'elle peut se développer dans des régions de latitude relativement élevée, où la main-d'œuvre européenne peut entrer en ligne de compte, ce qui simplifie beaucoup la question.

Voilà certes une des trouvailles les plus intéressantes qui aient été faites dans le domaine du caoutchouc; aussi le Comité colonial allemand, comprenant la valeur de ces nouveautés, a-t-il envoyé immédiatement en Amérique un jardinier chargé de rapporter en Europe graines et plantes de ces diverses espèces, afin de pouvoir les réexpédier dans les colonies allemandes de l'Afrique, où l'on veut essayer leur naturalisation.

La Bolivie, le Pérou, le Vénézuela, qui fournissent également

une certaine quantité de caoutchouc, possèdent dans leurs territoires différentes espèces d'*Hevea* dont plusieurs sont identiques à celles des régions brésiliennes.

Les caoutchoucs de l'Équateur et de la Colombie paraissent être produits principalement par des *Sapium* (Euphorbiacées), en général encore peu connus, et sur lesquels les recherches du Dr Preuss sont presque les seules qui aient fixé l'attention.

Une partie du caoutchouc de l'Équateur paraît être également produite par le *Castilloa elastica* que l'on retrouve comme plante caoutchoutifère au Costa-Rica, au Nicaragua, au Honduras, au Salvador, au Guatémala et dans certains endroits du Mexique. Malgré les rapports nombreux qui ont paru sur cette dernière essence, sa culture n'a pas eu le succès des *Hevea*; sans insister sur les causes de cet insuccès relatif, il convient de signaler le fait que le *Castilloa* est moins bon producteur que l'*Hevea* et même que le *Funtumia* africain.

Quant aux Antilles, qui ne fournissent d'ailleurs qu'une quantité relativement faible de caoutchouc, elles semblent le prendre au *Forsteronia floribunda*.

En Afrique les plantes laticifères, à latex renfermant du caoutchouc exploitable sont tout aussi nombreuses, et même peut-être plus nombreuses, qu'en Amérique. Jusque dans ces dernières années les essences les plus connues appartenaient au grand genre *Landolphia* de la famille des Apocynacées.

Au Sénégal, en Gambie, en Guinée portugaise et française, c'est, semble-t-il, le *Landolphia Heudelotii* qui est le plus répandu; c'est lui qui fournit aussi une bonne partie du caoutchouc exporté de Sierra-Leone; cependant dans cette dernière région apparaît déjà en certaine quantité le *Landolphia owariensis*, la première espèce connue du genre, qui est et restera probablement une des meilleures lianes caoutchoutifères de l'Afrique tropicale.

Au Liberia, à la Côte d'Ivoire, à la Côte d'Or, la plus grande partie du caoutchouc exporté provient de cette même liane à laquelle s'adjoint le *Ficus Vogelii;* mais le produit de cette dernière espèce, arbre et non liane, est loin de valoir celui des *Landolphia*.

Au Lagos et dans la Nigeria nous retrouvons les deux plantes citées plus haut, plus un arbre à caoutchouc d'un grand avenir cultural, le *Kickxia* ou *Funtumia*, dont le produit, arrivant de Lagos, fut longtemps connu sous le nom de « silkrubber », un caoutchouc soyeux.

Il existe dans ces diverses régions, comme dans d'autres parties de l'Afrique tropicale, différents *Ficus* caoutchoutifères, mais leur valeur, en rendement et en qualité, est inférieure.

Au Kameroun et au Congo français, nous retrouvons comme producteurs de gomme élastique le *Funtumia elastica*, déjà mis en culture, le *Landolphia owariensis* et *Klainei* et le *L. Pierrei* signalé plus récemment comme un producteur équivalent au *L. owariensis*.

La petite enclave du Congo portugais possède naturellement les mêmes essences caoutchoutifères que celles du Congo français, sauf peut-être le *Funtumia elastica*, dont la zone de dispersion ne s'étend pas de ce côté si près de la mer; elle possède probablement aussi plusieurs des espèces du Congo indépendant, mais l'étude des essences de cette petite région est à peine entamée.

Quant à l'État indépendant du Congo, le nombre des espèces à caoutchouc est des plus considérables; c'est, de plus, une des régions africaines qui, à ce point de vue, ont été relativement bien étudiées, mais où les recherches, qui se continuent, amèneront sûrement la découverte de bien des choses intéressantes.

Citons en premier lieu les lianes appartenant au genre *Landolphia*; ce sont : *L. owariensis*, *L. Klainei, L. Droogmansiana*, *L. Gentilii*, et pour le caoutchouc des herbes : *L. humilis* et *Thollonii*. Dans le genre *Clitandra*, nous avons : *Cl. Arnoldiana* et *Nzunde;* et le *Carpodinus gracilis* donnerait, dans ses rhizomes d'après certains collecteurs, un caoutchouc de certaine valeur.

Il faut encore citer parmi les producteurs lianes ou plantes volubiles, le *Periploca nigrescens*, espèce très répandue dans toute l'Afrique tropicale centrale, occidentale et qui, du moins au Congo, donne du caoutchouc noir exploité commercialement par les indigènes de certaines régions; dans d'autres, le latex collant sert uniquement à fixer aux flèches le poison employé pour tuer le gibier à la chasse.

Parmi les arbres, nous pouvons citer le *Kickxia* ou *Funtumia elastica* que l'on rencontre indigène sur beaucoup de points de l'État et qui, actuellement, est cultivé dans presque tous les postes. Il semble qu'une grande partie du caoutchouc de la région des Bangalas soit produite par cette espèce.

Certains *Ficus, F. Nekbudu* et *Bubu*, et d'autres formes encore peu connues, produiraient également du caoutchouc qui, tout en étant de qualité très secondaire, peut cependant affronter la vente.

Il semble même que le produit poisseux fourni par le *Landolphia florida* trouverait amateur sur certains marchés, mais cette substance ne peut être comparée au véritable caoutchouc.

Dans l'Angola, on retrouvera sans doute plusieurs des plantes productrices du caoutchouc congolais, comme on retrouvera probablement aussi dans les limites de l'État certaines des espèces signalées au delà des frontières dans le territoire portugais. Les espèces les plus caractéristiques de cette région seraient : *Landolphia owariensis*, *Land. Thollonii*, *Carpodinus chylorrhyza* et peut-être *Clitandra Henriquesiana* au sujet duquel ont surgi de nombreuses discussions et pour lequel les botanistes, comme les voyageurs, sont encore loin de s'entendre.

Une grande partie du caoutchouc de l'Afrique orientale portugaise proviendrait du *Landolphia Kirkii*, comme celui de l'Afrique orientale allemande, où se rencontrent encore les *Land. dondeensis*, *Clitandra kilimandjarica*, *Mascarenhasia elastica*, sur la production desquels on n'est pas bien fixé.

Dans l'Afrique orientale anglaise se rencontre le *Land. Kirkii* et le *Landolphia Dawei*, qui aurait également été rencontré au Kameroun et à San Thomé par M. Aug. Chevalier et qui produirait un caoutchouc de toute première qualité et en quantité plus forte que les autres lianes. Dans la même région, il faut encore noter le *Clitandra orientalis*, voisin du *Cl. Arnoldiana*, qui produit également du fort bon caoutchouc. Dans cette même région on rencontre également, d'après les dernières explorations botaniques de M. Dawe, le *Funtumia elastica*.

Madagascar possède toute une série de plantes laticifères, dont plusieurs de bonne valeur; de nombreuses espèces du genre *Landolphia* ont été signalées par Pierre et M. Jumelle; plusieurs *Mascarenhasia* donnent du caoutchouc et on a essayé leur culture dans les autres régions tropicales. On peut citer encore *Marsdenia verrucosa*, *Cryptostegia madagascariensis* et diverses Euphorbes parmi lesquelles l'*Euphorbia Intisy* est la plus remarquable et la plus productrice.

En Assam, Birmanie, Annam, Ceylan, Straits, on trouve surtout des *Ficus elastica* et des espèces indigènes des genres *Willugbeya* et *Urccola*, de valeur moindre d'ailleurs au point de vue caoutchoutifère; mais depuis quelques années on y a introduit l'*Hevea brasiliensis*, qui y donne des rendements inespérés; aussi la culture de cette essence brésilienne a-t-elle pris une extension extraordinaire, les plantations consacrées à l'exploitation de

cet arbre deviennent de plus en plus nombreuses, s'étendant sur des surfaces considérables.

L'Indo-Chine possède également une flore d'essences caoutchoutifères très variées, appartenant aux genres *Parameria*, *Ecdysanthera*, *Xylinabaria*, etc., mais relativement mal connues malgré les recherches récentes de MM. Spire et les déterminations de L. Pierre.

Sumatra, Java, Bornéo et les autres îles des Indes néerlandaises possèdent le *Ficus elastica* et des représentants des genres *Willugbya*, *Urceolaria*, *Parameria*, etc., qui donnent, somme toute, une faible quantité de caoutchouc.

En Australie on a indiqué, dans la partie nord-orientale, des *Ficus* caoutchoutifères, mais jusqu'à ce jour les exportations du produit de cette origine ne comptent guère.

Un des caractères sur lesquels on se base souvent pour définir la valeur d'un caoutchouc, est sa teneur en substances résineuses ; il y a, en effet, suivant l'origine du produit, une grande différence dans la quantité de résine qu'il contient : d'un peu plus de 1 p. c., dans les qualités supérieures de Para, elle peut atteindre plus de 35 p. c. dans les qualités inférieures d'Afrique (1). Mais c'est non seulement suivant l'origine du produit, mais encore suivant le moment où il a été préparé que la proportion de résine peut varier : le latex d'une plante jeune est plus résineux que celui d'une plante adulte, et c'est là la raison pour laquelle il faut que les plantations aient un certain âge avant qu'elles puissent être utilement exploitées.

Les caoutchoucs congolais arrivent sur le marché d'Anvers en un très grand nombre de qualités ; il suffit, pour s'en convaincre, de jeter un coup d'œil sur une des revues annuelles publiées par nos courtiers anversois. Malheureusement, dans l'état actuel de nos connaissances, il ne nous est pas possible de spécifier quelle est l'origine botanique de ces divers caoutchoucs. Il est évident que leurs variétés ne correspondent pas toujours à des espèces botaniques différentes, mais qu'elles sont dues aussi à des méthodes différentes de préparation ou à des mélanges de latex.

Il y aurait donc le plus grand intérêt à établir une sorte d'enquête, dans chaque région productrice de caoutchouc, sur les espèces productrices et les méthodes employées par les indigènes. D'une étude comparative des renseignements recueillis, on pourrait déduire, en connaissance de cause, les meilleures

(1) Cf. Rohkautschuk, *Tabellen* von Dr Henriques und Dr Soskin in GUMMI KALENDER, 1907. Dresden, Steinkopf et Springer, pp. 94 et suiv.

méthodes de préparation des produits et montrer au collecteur la manière dont il doit opérer pour obtenir le rendement le plus rémunérateur.

Cela est vrai d'ailleurs, non seulement pour le Congo, mais pour la plupart des autres régions productrices, car, même au Brésil, personne ne peut certifier que tout le caoutchouc exporté sous le vocable « Para fine » provienne exclusivement de l'*Hevea brasiliensis*.

Même le caoutchouc de Ceylan, obtenu d'arbres cultivés, est peut-être le produit d'un mélange de latex de variétés différentes, qui pourraient ne pas appartenir à l'*Hevea brasiliensis*. L'étude scientifique des formes mises en culture n'a pas encore été faite en détail. Il est en tout cas absolument certain que la plante cultivée à Ceylan et dans les Straits Settlements, est originaire d'Amérique et que personne n'a jamais songé, comme l'ont signalé certains auteurs, à créer un *Hevea asiatica*.

On le voit, la question caoutchoutifère est loin d'être élucidée; avant que tous les problèmes qu'elle soulève aient été résolus, il faudra accumuler bien des matériaux et se livrer à bien des recherches. Il est donc à souhaiter que, de toutes parts, on se mette à l'œuvre; la solution d'une question aussi vaste ne peut être l'œuvre d'un seul homme, il faut le concours de toutes les bonnes volontés tant dans les régions productrices que dans les centres scientifiques d'Europe, d'Amérique septentrionale et d'Asie.

L'Alfa en Algérie. — La zone des steppes algériennes est le domaine par excellence du *Stipa tenacissima*, connu sous le nom d'Alfa. Cette curieuse graminée est devenue depuis quelque temps l'objet d'une exploitation industrielle intense qui a beaucoup contribué au progrès de la colonisation dans certains départements.

L'Alfa est une plante vivace, à rhizomes très rameux et de croissance toute particulière. Elle forme d'abord des souches compactes et homogènes, devenant circulaires par le dépérissement des rameaux les plus anciens du centre. A la longue, les rameaux de la périphérie deviennent l'origine de nouvelles touffes compactes, qui s'évident à leur tour au centre et dont le pourtour suit le même cycle d'évolution. La feuille d'Alfa varie de longueur suivant l'âge et l'état de la plante, les mensurations extrêmes sont 25 centimètres et 120 centimètres. Pendant la végétation, quand l'atmosphère et le sol ne sont pas totalement

secs, le limbe foliaire est étalé, mais sous l'influence de la dessiccation les deux moitiés de la feuille s'enroulent et le limbe se transforme en une sorte de bâtonnet de longueur variable, en moyenne de 50 à 80 centimètres.

L'Alfa n'est pas une graminée spéciale à cette zone intermédiaire entre le Tell et le désert, elle se rencontre même en Espagne, où elle n'occupe il est vrai que le littoral méditerranéen et certains plateaux secs où la chute d'eau ne dépasse pas 50 centimètres. D'ailleurs cette plante se contente d'une quantité d'eau bien plus faible, 16 centimètres par année lui suffisent.

En Espagne, comme en Algérie, l'Alfa est exploité depuis longtemps et l'influence de l'exploitation est des mieux marquée. Tandis que les Alfa vierges sont longs, larges, durs, grossiers, cassants, à mesure que se fait l'exploitation et que la souche perd des matières, les feuilles diminuent de longueur, mais elles deviennent plus fines, moins friables, plus souples et d'une plus grande uniformité.

L'exploitation améliore donc le produit, mais la continuité des récoltes finit par épuiser la plante qui n'est bientôt plus capable de fournir des brins de plus de 25 centimètres ; ceux-ci sont néanmoins très estimés encore et, dans le voisinage des grands centres ou près des voies de communication, l'exploitation continue souvent jusqu'à destruction.

L'exploitation de l'Alfa remonte à la plus haute antiquité. Varron, Dioscorides, Pline en parlent déjà et il semble même que les procédés d'exploitation sont restés, à peu de chose près, ce qu'ils étaient dans l'antiquité.

Grâce à la facile désarticulation de la feuille et de la gaine, il est aisé de faire la récolte des feuilles d'Alfa à la main entourée d'un gant ; de petites secousses séparent facilement les feuilles. Mais ce procédé demande une assez longue main-d'œuvre. Aussi est-il remplacé généralement par le procédé dit « du bâtonnet ».

Le collecteur portant dans la main gauche un bâtonnet d'environ 40 centimètres, fixé au poignet par une lanière de cuir, saisit, de la main droite, une poignée de feuilles, les enroule sur le petit bâton tenu obliquement et tire des deux mains et par saccades ; mais en même temps que les feuilles se désarticulent, se brisent également, à la base, des rameaux de la plante, qui sont rejetés.

Les brins sont mis en bottes et transportés au chantier où ils sont triés et classés avant d'être livrés au commerce.

Actuellement, les terrains à Alfa sont la propriété soit de particuliers,soit des communes, soit du domaine. Ils sont généralement exploités par des entrepreneurs qui traitent avec les concessionnaires ayant obtenu droit d'exploitation en payant une redevance.

L'Espagne est un pays de grande production d'Alfa; mais son exportation, qui a atteint il y a une trentaine d'années 90 000 tonnes, est réduite à une moyenne annuelle de 45 000 tonnes. L'Algérie a commencé à exploiter l'Alfa vers 1863; en 1879, le maximum des exportations fut atteint avec 110 000 tonnes; actuellement, la moyenne annuelle est de 80 000 tonnes qui sont expédiées en Europe.

La Tunisie a vu dans ces dernières années se réduire fortement son exportation, mais elle exporte plus d'Alfa ouvré, et, depuis quelque temps, on y a installé des fabriques de pâtes à papier. La Tripolitaine est également grand exportateur d'Alfa depuis un certain nombre d'années; son exportation oscille aux environs de 76 000 tonnes.

En Algérie, les trois provinces d'Oran, d'Alger et de Constantine ne fournissent que des parts très inégales à l'exportation de ce produit. La première a conservé le monopole, d'abord parce que les champs exploités y sont voisins de la mer et parce que c'est la province la mieux outillée au point de vue du transport.

L'industrie du papier consomme annuellement la plus grande partie des Alfas, c'est elle d'ailleurs qui peut employer les qualités les moins bonnes.

Il est difficile de donner une idée de la quantité d'Alfa employée dans le monde. Disons seulement que M. le Dr Trabut et M. Marès pensent qu'elle peut être estimée aux chiffres suivants :

Papeterie.	210 000 tonnes.
Sparterie.	
Corderie	
Vannerie	20 000 »
Chaussures	
Tissus, etc.	

Actuellement, l'Angleterre est le plus grand consommateur d'Alfa pour la fabrication du papier. Ce papier est souple, soyeux, résistant, d'une grande pureté; il a beaucoup plus

d'épaisseur pour le même poids que tout autre; il convient très bien pour les éditions de luxe et l'impression de belles gravures.

La France utilise actuellement peu d'Alfa, parce que le produit brut lui revient plus cher que chez nous : nous obtenons les 100 kilos à 10 francs, tandis que le fabricant français les paye 14 francs.

L'Allemagne achète peu d'Alfa, mais ne prend que les brins de bonne qualité, dont le prix varie de 14 à 17 francs les 100 kilos, et qu'elle utilise dans la vannerie et la sparterie fines.

L'Autriche et l'Italie sont de petits acheteurs d'Alfa, mais la quantité qu'elles consomment va en croissant.

Il y a donc encore, pour l'Algérie, un bel avenir dans l'exploitation de cette graminée et les 600 000 hectares non exploités, qui se trouvent en territoire militaire, dans le département d'Alger, mériteraient d'être ouverts à l'exploitation.

É. D. W.

POUR L'ACHÈVEMENT ET L'EXTENSION

DE

L'OBSERVATOIRE DU VATICAN

Toutes nos sympathies sont acquises à l'œuvre de la Commission des travaux pour l'achèvement et l'extension de l'Observatoire du Vatican, et nous serions heureux de pouvoir contribuer à son succès. Nous publions donc bien volontiers l'appel qui suit, en demandant à nos lecteurs de lui faire un généreux accueil. Les dons destinés à cette œuvre scientifique peuvent être adressés soit à la Commission que préside Sa Grandeur Mgr Maffi, archevêque de Pise, soit à M. Thirion, secrétariat de la Société scientifique, 11, rue des Récollets, à Louvain, qui se charge de les transmettre à la Commission.

Une vingtaine d'années s'est écoulée depuis le jubilé sacerdotal du pape Léon XIII : sous peu, une fête semblable solennisera celui de son successeur actuel, le pape Pie X. Les fêtes du premier jubilé ont été marquées par la fondation de l'Observatoire du Vatican, celles du second ne présentent-elles pas une occasion propice pour son achèvement et son extension ?

Les fortifications léonines sont un des souvenirs les plus vénérables de la Rome chrétienne ; jadis, en ces âges belliqueux où l'on avait toujours à craindre quelque soudaine incursion des barbares, elles déroulaient leur enceinte protectrice autour de la Basilique de Saint-Pierre. C'est le pape Léon IV qui, vers le milieu du IX[e] siècle, les fit construire avec l'aide de l'empereur Lothaire, pour protéger le tombeau du prince des apôtres contre les pirates sarrazins : partant de l'Afrique et de l'Espagne, ils envahissaient périodiquement l'Italie et menaçaient surtout la capitale de la chrétienté. Longtemps ce boulevard formidable

résista à tous les assauts et soutint l'effort des siècles. Aujourd'hui, là comme partout, le temps a fait son œuvre. Il reste toutefois, debout dans leur fière majesté, les deux tours qui se dressaient sur la crête la plus élevée de la colline du Vatican s'étendant vers l'ouest, et le mur de plus de 400 mètres de long qui les reliait. Le sommet des tours est à une hauteur de 25 mètres, celui du mur à 20 mètres au-dessus du sol, et à 100 mètres environ du niveau de la mer. Les tours qui ont 17 mètres de diamètre intérieur au ras du sol et 4^{m},50 d'épaisseur vont en s'amincissant vers le sommet, duquel on peut, par un temps clair, voir la Méditerranée. Des autres parties des fortifications léonines il ne reste que des fragments.

Lors de l'exposition vaticane, en 1888, la section scientifique de l'exposition émit la première idée d'un observatoire astronomique, idée qui rencontra aussitôt et dans tous les milieux la faveur la plus encourageante. Bientôt elle prenait sa forme pratique par l'adhésion de l'Observatoire à l'entreprise internationale de la photographie du ciel. On songea tout naturellement, pour en fixer la place, aux vieilles tours léonines. L'équatorial destiné à la photographie du ciel fut installé sur celle qui est la plus éloignée de la coupole de Saint-Pierre. L'autre servait de résidence d'été au Souverain Pontife. Et quand, au moment de les restaurer, on en fit l'inspection minutieuse, on constata que si on voulait les maintenir en bon état, il ne faudrait plus désormais les laisser inoccupées.

C'est ainsi que pendant vingt ans, l'Observatoire du Vatican resta, pour ainsi dire, sur un seul pied. Le pape Pie X, actuellement régnant, dont la sage initiative s'étend à tout ce qui peut contribuer aux progrès de la science, conçut alors le dessein de développer l'Observatoire au point de vue matériel et scientifique et voulut pour cela lui céder l'autre tour avec les bâtiments adjacents. Non moins heureusement inspiré, il confia le soin de mener à bien ce projet à un homme d'une compétence universellement reconnue, déjà directeur d'une revue scientifique, Mgr Pietro Maffi, archevêque de Pise. Le distingué prélat se mit aussitôt à l'œuvre afin de faire de l'Observatoire un institut digne du Vatican. La seconde tour de l'enceinte léonine, à laquelle, pour la distinguer de la Torre Leone XIII° destinée à la photographie du ciel, on donna le nom de Torre Pio X^{o}, doit recevoir, sous une nouvelle coupole, un télescope à vision directe et le mur qui unit les deux tours sera restauré en rapport avec son but primitif : il reliera les deux postes d'observation qui formeront

désormais un groupe d'édifices. Les portes et les escaliers qui donnaient jadis accès sur le mur, sont encore visibles et déjà restaurés en partie; il suffira donc d'achever cette restauration. Le mur lui-même a perdu son parapet, des écroulements partiels ont rompu sa ligne et y ont ouvert une large brèche à l'endroit où s'élève actuellement la grotte de Lourdes. Pour rétablir le passage d'une tour à l'autre, il faudra construire un pont léger en fer de 85 mètres de longueur, rehausser en partie le mur et y mettre une balustrade sur une étendue de plus de 400 mètres. La toiture en bois de la Torre Pio X° a été enlevée; elle sera remplacée par une coupole mobile de 8 mètres de diamètre et recevra un télescope qui, pour être en rapport convenable avec ces dimensions, devra avoir au moins 6 mètres de distance focale et par suite au moins 40 centimètres d'ouverture.

Les édicules que le pape Léon XIII avait fait construire pour son séjour d'été, devront aussi recevoir des modifications qui mettent leur plan d'ensemble en harmonie avec la nouvelle destination scientifique. Sur une terrasse plane, on va ériger une petite tour surmontée d'une coupole mobile pour le photohéliographe et sur une des plates-formes on construit une salle méridienne avec un pilier pour y installer le petit instrument de passage. A moitié chemin entre les deux grandes tours, le mur est renforcé par un bastion demi-circulaire qui se prête admirablement à l'installation d'un grand cercle méridien.

Ces travaux, dont nous avons tenu à exposer le détail, sont déjà commencés. Ils nécessiteront, on le comprend, des dépenses considérables auxquelles s'ajouteront encore celles que nécessitent l'achat d'appareils appropriés aux exigences les plus modernes de la science, l'augmentation non moins nécessaire du personnel de l'Observatoire et la publication d'une série d'œuvres classiques, comme celles de Léonard Euler, dès longtemps projetée et préparée par le Directeur.

Ces dépenses excèdent de beaucoup les ressources qui furent mises à la disposition de l'Observatoire, lors de sa fondation et il en faut trouver de nouvelles, si l'on veut réaliser le plan conçu pour l'achèvement et le développement de l'Observatoire du Vatican.

Le jubilé sacerdotal de Sa Sainteté le pape Pie X n'offre-t-il pas une occasion toute naturelle à un appel en faveur d'une œuvre qui en consacrerait si glorieusement le souvenir ? L'histoire et la science y sont également intéressées. En préservant d'une ruine définitive cette forteresse dix fois séculaire, c'est un passé glo-

rieux qu'on sauve de l'oubli. C'est une œuvre de paix aussi et d'intérêt social qu'on édifie : là où retentissait le fracas de la guerre, se feront désormais les observations silencieuses de la nuit ; là où les catapultes dressaient leur puissance destructive, se profileront les télescopes, pacifiques ouvriers du savoir humain, et de même qu'au-dessus des ruines de la Rome païenne ont surgi les monuments de la Rome chrétienne, ainsi, comme un harmonieux écho du passé, sur les remparts puissants de la forteresse léonine se dressera la nouvelle cité de la science.

Mues par ces raisons si fortes et si élevées, plusieurs commissions, distinctes suivant les diverses nations, se sont constituées sous le haut patronage de S. G. Mgr Maffi, archevêque de Pise, afin de faire connaître à chacune d'elles les travaux entrepris pour l'achèvement de l'Observatoire du Vatican. Elles les invitent à y contribuer de leurs largesses et à s'unir dans une filiale et généreuse initiative pour consacrer par un monument aussi utile et aussi durable le jubilé sacerdotal de notre très aimé Pontife, le pape Pie X.

Comme stimulant à cette générosité, nous pouvons déjà mentionner un don de 25 000 francs qu'un bienfaiteur nous a fait parvenir de l'Amérique pour la construction du pont de fer.

TABLES DES MATIÈRES

DU

ONZIÈME VOLUME (TROISIÈME SÉRIE)

TOME LXI DE LA COLLECTION

Livraison de Janvier 1907

Livraison d'Avril 1907